

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie

zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv způsobu žebrování plastových dílů na jejich pevnost v ohybu.

The way of ribbing plastics parts and the effect on their flexural strengt.

Milan Lanča

KSP – TP - B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jakub Zeman

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 42

Počet tabulek: 9

Počet příloh: 10

Počet obrázků: 27

Počet grafů: 10

Datum: 21.5.2012



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Milan **L A N Ě A**

Studijní program

B2341 Strojírenství

Studijní obor

3911R018 Materiály a technologie

Zaměření

Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Vliv způsobu žebrování plastových dílů na jejich pevnost v ohybu

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Rozbor možných konstrukcí žebrování plastových dílů
2. Výběr metody pro zhotovení plastových dílů s různým žebrováním
3. Testování dílů a vyhodnocení vlivu žebrování
4. Hodnocení přínosu práce a závěr

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI **Fakulta strojní**

Katedra strojírenské technologie **Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: B2341-Strojírenství
Student: Milan Lanča
Téma práce: Vliv způsobu žebrování plastových dílů na jejich pevnost v ohybu.

The way of ribbing plastics parts and the effect on their flexural strength.

Číslo BP: KSP-TP-B
Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.
Konzultant: Ing. Jakub Zeman

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývala stanovením obecné normy pro volbu způsobu žebrování plastových dílů, které byly namáhány na ohyb. Pro stanovení obecné normy bylo použito zkoušek plastových vzorků vyrobených za použití Rapid prototypingu a následné vzájemné porovnání jednotlivých výsledků měření. V praktické části byla dále popsána zkouška plastu ohybem dle ČSN EN ISO 178. Údaje získané pomocí praktických zkoušek byly nakonec porovnány se simulací v programu Solid Edge.

Abstract: This bachelor thesis has considered assesment of general standard to choose the method of ribbing plastic parts, which were subjected to bending. The tests of the plastic samples produced by using Rapid prototyping were used to provide the general standard. Give-and-take comparison of the individual results of the measurement was done consenquently. The deflection test of plastic parts was described in practical part of the thesis according ČSN EN ISO 178. The data gained by practical tests were finally compared with the simulation in program Solid Edge.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury.

V Liberci 21.5.2012

.....
Milan Lanča
ul. Sv. Čecha 2942
407 47 Varnsdorf

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Aleši Auspergerovi Ph.D. za příkladné vedení, poskytnuté rady a objektivní kritiku.

Také bych chtěl poděkovat svému konzultantovi Ing. Jakubovi Zemanovi za věcné rady a připomínky při vypracování, děkuji též Peteru Knoblochovi-majiteli firmy 3D tiskárna-Turnov za vstřícnost a rychlou výrobu zkušebních vzorků a pánům Ing. Pavlu Solfronkovi Ph.D. a Ing. Lubošovi Běhálkovi za asistenci při praktických zkouškách vzorků.

Nakonec děkuji své rodině a spolužákům za morální podporu během celého studia.

Milan Lanča

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A POJMŮ.....	7
1. ÚVOD.....	8
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1. PLASTY.....	9
2.1.1. Charakteristika, historie, význam.....	9
2.1.2. Rozdělení	9
2.1.3. Výroba plastových dílů vstřikováním.....	12
2.1.4. ABS (Akrylonitril-butadien-styren): charakteristika, použití.....	15
2.2. RAPID PROTOTYPING.....	16
2.2.1. Princip, význam, uplatnění.....	16
2.2.2. Popis jednotlivých základních technologií	17
2.3. MECHANICKÉ ZKOUŠKY PLASTŮ.....	19
2.3.1. Rozdělení, význam, popis.....	19
2.3.2. Zkušební tělesa.....	20
2.3.3. Popis nepoužívanějších mech. zkoušek plastů.....	20
2.4. ZPŮSOBY ŽEBROVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLŮ.....	25
2.4.1 Popis, význam.....	25
3. PRAKTICKÁ ČÁST.....	27
3.1. ZKUŠEBNÍ VZORKY.....	27
3.1.1. Návrh a konstrukce modelů.....	27
3.1.2. Výroba vzorků metodou Rapid Prototyping.....	27
3.2. ZKOUŠENÍ VZORKŮ.....	29
3.2.1. Návrh a konstrukce zkušebního třmenu s trnem.....	29
3.2.2. Zkouška materiálových vzorků na ohyb dle ČSN EN ISO 178...30	
3.2.3. Zkouška žebrovaných vzorků na ohyb.....	33
3.3. CAD SIMULACE	34
3.3.1. Nastavení parametrů.....	34
3.3.2. Porovnání simulace s měřením reálných vybraných vzorků.....	35
3.4. ZHODNOCENÍ.....	37
3.4.1. Vzájemné porovnání zkoušek vzorků se žebrováním 3mm.....	37
3.4.2. Vzájemné porovnání zkoušek vzorků se žebrováním 8mm.....	37
3.4.3. Porovnání praktické zkoušky s CAD simulací.....	37
4. ZÁVĚR.....	37
5. SEZNAM LITERATURY A ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ.....	38
6. SEZNAM PŘÍLOH.....	40

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A POJMŮ

- RP** *Rapid Prototyping*: souhrnné označení pro technologie výroby prototypových modelů tvořených většinou po tenkých vrstvách
- FD** *Fused Deposition Modeling*: je to jedna z technologií RP, která využívá stavby 3D modelu na principu tavné pistole ke které je materiál odvíjen z cívek
- ABS** *Akrylonitril-butadien-styren*: amorfni plast, které se vyrábí polymerací nafty
- CAD** *Computer Aided Design*: počítačem podporované navrhování
- CAM** *Computer Aided Manufacturing*: počítačem podporovaná výroba
- Napětí v ohybu σ_f [MPa]** : jmenovité napětí vnějšího povrchu zkušební tělesa zatěžovaného uprostřed rozpětí podpěr
- Pevnost v ohybu σ_{fM} [MPa]** : největší napětí v ohybu, které zkušební těleso snese během zkoušky ohybem
- Průhyb s [mm]** : vzdálenost, o kterou se během pohybu vychýlí horní nebo spodní plocha zkušební tělesa uprostřed rozpětí podpěr ze své původní polohy
- Deformace ohybem ε_f [-] nebo [%]**: jmenovitá poměrná změna délky elementu vnějšího povrchu ohýbaného zkušební tělesa uprostřed rozpětí podpěr

ÚVOD

Plastové výrobky se od počátku svého vzniku stávaly spíše náhradou za již používané materiály jako jsou dřevo, porcelán, sklo, kov. Neustálým chemicko-technologickým vývojem se podařilo u plastů dosáhnout vlastností, které v některých případech výrazně převyšují tradiční konstrukční materiály a stále častěji se s nimi setkáváme na místech, která by byla pro nás ještě před pár lety nemyslitelná. Jedním z nejviditelnějších známých inovativních uplatnění plastových výrobků si můžeme všimnout v automobilovém průmyslu, kde plasty nahradili plech u blatníků i dveří. Dále lze zmínit zkoušky polykarbonátových skel, nebo vývoj plastových sacích potrubí spalovacích motorů s vysokou tepelnou odolností.

Potenciál využití plastů není díky stálému výzkumu ničím ohraničen a tak se s čím dál větším důrazem na ekonomicko-ekologické hledisko budeme s tímto materiálem setkávat v aplikacích i pro velmi namáhané strojní součásti, které byly dříve vlastní pouze kovům.

Cílem této bakalářské práce je stanovit vliv způsobu a hustoty žebrování na výslednou pevnost v ohybu přímým měřením zkušebních vzorků, vyrobených metodou Rapid Prototypingu, a zjištěné výsledky pak porovnat s počítačovou simulací.

Bakalářská práce vznikla v rámci řešení projektu studentské grantové soutěže 2822.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. PLASTY

2.1.1. Charakteristika, historie, význam

Plastické hmoty, dříve též umělé hmoty - organické, popřípadě makromolekulární látky (polymery), syntetické nebo polosyntetické, popřípadě směsi těchto látek s technologicky vhodnými přísadami. Vyznačují se některými společnými vlastnostmi fyz. a chem., které podmiňují jejich schopnost tváření (lisováním, stříkáním, litím, tažením). P. h. se vyrábějí buď chemickou přeměnou přírodních látek, např. vulkanizací kaučuku, přeměnou celulózy (acetylcelulóza, celuloid), nebo převážně synteticky, postupy běžnými v makromolekulární chemii, většinou z přír. surovin (uhlí, ropy, zemního plynu). Molekuly některých p. h. obsahují kromě uhlíku, vodíku, kyslíku další prvky, např. fluor (polyfluorethyleny) nebo křemík (silikony). Podle chování za tepla jsou p. h. buď termoplasty (polyamidy, polyethylen, polykarbonáty, polystyren, polyvinylchlorid), které jsou teplem netvrditelné a zahřátím přecházejí do plastického stavu, nebo termosety (bakelit, epoxidové pryskyřice), které teplem nevratně tvrdnou. Pro své mimořádné vlastnosti (malou hmotnost, značnou chemickou netečnost, příznivé dielektrické vlastnosti, snadné zpracování), jsou p. h. používány v nejrůznějších oborech lidské činnosti. [1]

Prvním plastem vůbec byl parkesin čili umělá slonovina, chemicky nitrát celulózy, který vynalezl Angličan Alexander Parkes v roce 1855. Prvním plně syntetickým plastem byl bakelit – reaktoplast vznikající polykondenzací fenolu a formaldehydu (1909). Například polyethylen byl poprvé připraven Hansem von Peckmannem v roce 1891. Po první světové válce se začaly vyrábět první vinylové plasty (PVC, polystyren), v 30. letech minulého století byla objevena syntéza prvního polyamidu (Nylonu). V téže době také začíná prudký rozmach výzkumu i výroby většiny dalších plastů používaných vesměs dodnes. Do každodenního života vstoupily plasty (a výrobky z nich) masivně až po II. světové válce, coby levná náhrada klasických materiálů jako dřevo, sklo, ocel a jiné kovy, atp.

Od 80. let 20. století sice můžeme sledovat jistý útlum ve vývoji zcela nových polymerů, zato je patrný růst nových polymerních směsí a kompozitů.

Nelze se nezmínit o trendu posledních let a to o nanoplnech a přídatných látkách vyrobené nanotechnologií, které plastům dávají dosud netušené vlastnosti a také o tzv. bioplastech k jejichž výrobě se používá ryze přírodních surovin a je u nich v co největší míře požadována biologická degradovatelnost. S bioplasty se můžeme setkat především v obalové technice. [2]

2.1.2. Rozdělení

Plasty označují řadu syntetických nebo polosyntetických polymerních materiálů. Často obsahují další látky ke zlepšení užitných vlastností, např. odolnosti proti stárnutí, zvýšení houževnatosti, pružnosti apod. plasty mohou být formovány do předmětů, filmů nebo vláken. Jejich název je odvozen z faktu, že mnohé jsou tvarovatelné - mají vlastnost zvanou plasticita. plasty se vyznačují velkou variabilitou vlastností, jako je např. tepelná odolnost, tvrdost, pružnost.

Mezi jejich výhody patří nízká hustota, chemická odolnost, jednotnost složení a struktury a dobrá zpracovatelnost energeticky málo náročnými technologiemi vhodnými pro masovou výrobu (lisování, lisostřík, vstřikování, vyfukování, lití) apod.). Díky tomu našly použití téměř ve všech průmyslových odvětvích i v domácnostech. [3]

Plasty mohou být klasifikovány několika způsoby, ale nejčastěji se dělí podle použitého monomeru (tedy i chemického složení jejich polymerního řetězce). Mezi nejběžnější plasty z tohoto hlediska patří:

-vinylové plasty:

- polyethylen (PE)
- polypropylen (PP)
- polyvinylchlorid (PVC)
- polystyren (PS)
- polymethylmethakrylát (PMMA)

-polyamidy

-polyestery:

- polyethylentereftalát (PET)

-polyuretany

-fenoplasty

-aminoplasty

-polysiloxany (silikony)

-fluoroplasty (např. Teflon)

Další dělení plastů:

-podle zpracovatelnosti po ohřátí:

- termoplasty – po ohřátí na vysokou teplotu a ochlazení jsou znovu zpracovatelné
- reaktoplasty (dříve termosety) – po ohřátí je již nelze zpracovat

-podle typu polymerizace, kterou plast vznikl:

- řetězová polymerizace
- stupňovitá polymerizace

-podle teploty skelného přechodu (T_g): podle teploty, kdy polymer přechází ze stavu skelného do stavu kaučukovitého

-podle hustoty:

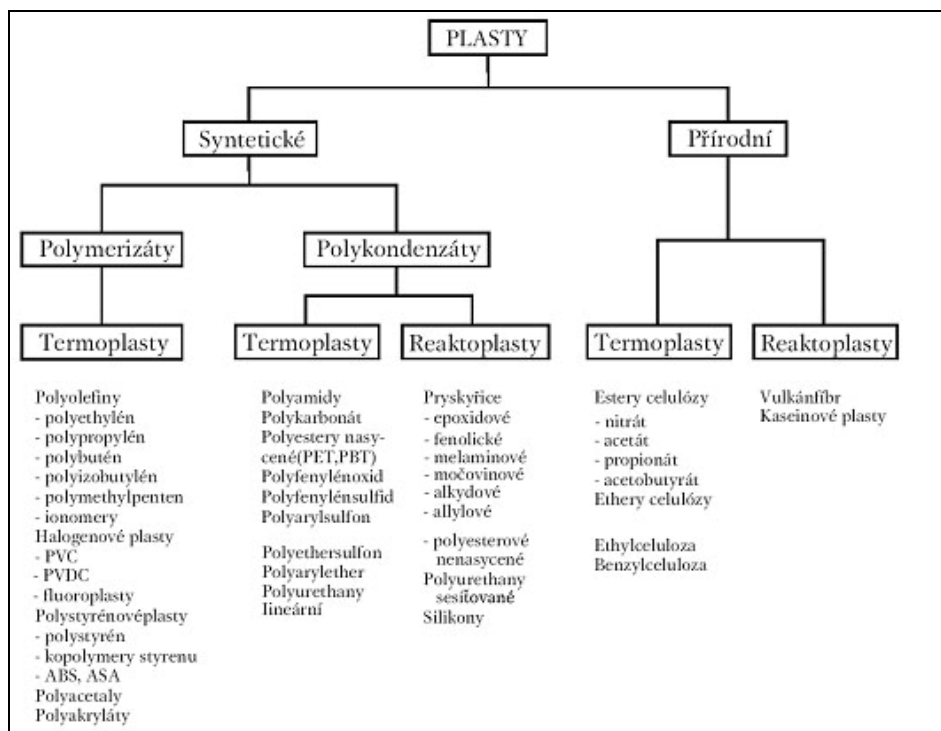
- používá se několik zkratk od nejnižší (Ultra Low Molecular Weight-ULMW) po nejvyšší (Ultra High Molecular Weight-UHMW)

-podle dopadu na životní prostředí:

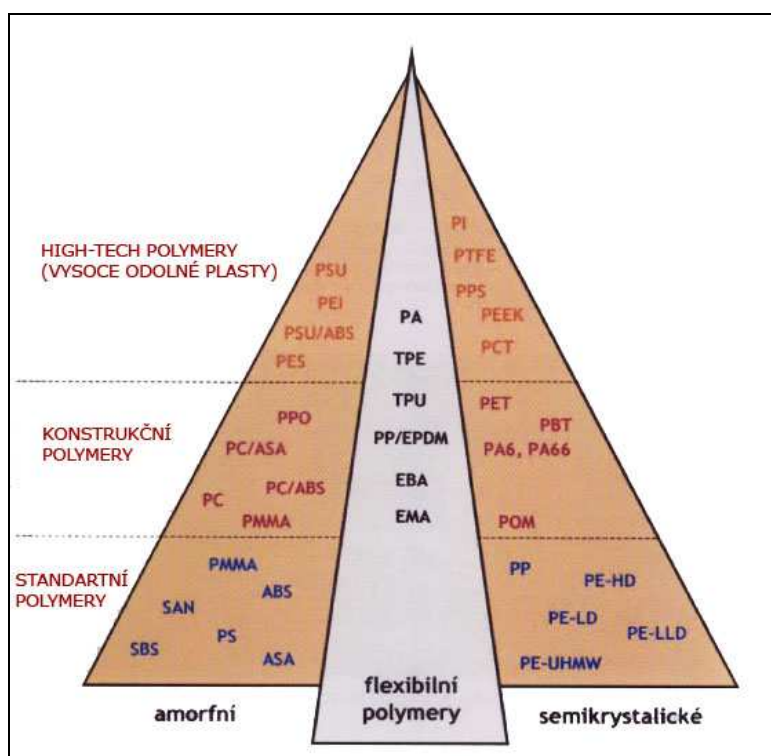
- plně syntetické – nelze je přirozeně rozložit – zatím většina plastů
- polosyntetické (bioplasty) – vznikají modifikací přírodních polymerů, např. celulózy (nitrocelulóza, acetát celulózy, viskóza)

-speciální skupiny jako např.:

- plasty se zkrácenou životností
- woodplastic



Obr.2.1: Schema rozdělení přírodních a syntetických polymerů [4]



Obr. 2.2: Rozdělení plastů podle nadmolekulární struktury [5]

2.1.3. Výroba plastových dílů a příklady použití

Tvážení plastů je široce rozvinutý obor a lze jej rozdělit na několik základních podskupin:

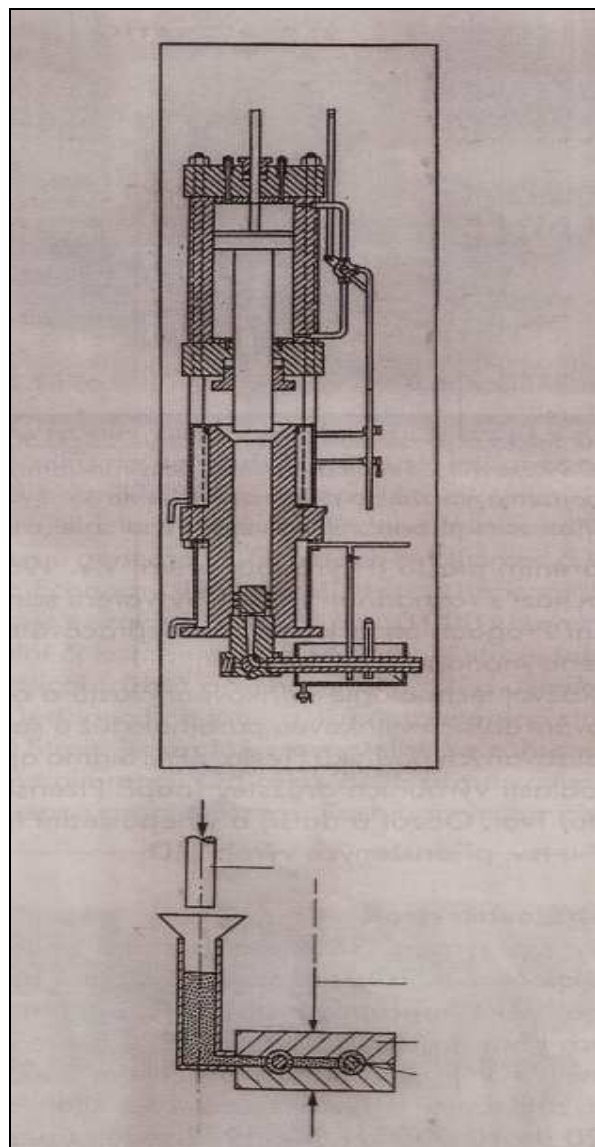
- vstřikování:**
 - tavenina plastu je vstřikována do formy
 - technologie použitelná pro většinu termoplastů
 - rozměrová přesnost výrobků, opakovatelnost cyklu
- vytlačování:**
 - tavenina plastu je přes vytlačovací hlavu s požadovaným profilem vytlačována do volného prostoru
 - výroba trubek a profilů (PVC, HDPE, PS, PA...)
 - výroba desek a fólií (PVC, HDPE, PC, PP...)
- vyfukování:**
 - tavenina je ve vstřikovací formě nejprve nanesena na speciální trn a pak je po následném přenesení do vyfukovací formy tavenina z trnu vyfouknuta stalčeným vzduchem do požadovaného tvaru
 - výroba dutých těles, lahví, nádob (PET, PP...)
- tvarování:**
 - prohřátý polotovar (deska, fólie) na svou specifickou telotu je následně pomocí formy (jedno- nebo dvoudílné) přetvarován
 - výroba dílů nenáročných na přesnost, průmyslové obaly (PVC, ABS, PP, PET, PE...)
- lisování:**
 - prášek reaktoplastu se nasype v přesném množství do vyhřáté formy a po jeho plastikaci dojde k lisování druhou částí formy-tvárníkem
 - fenolické hmoty, aminoplasty...
- přetlačování:**
 - prášek reaktoplastu se vkládá do pomocné dutiny formy a po jeho plastikaci je tvárníkem přetlačen přes vtokové kanálky do dutiny formy
 - členité výlisky, výlisky se záhlaví
- válcování:**
 - zplastifikovaná hmota je z hnětacího nebo vytlačovacího stroje přiváděna mezi štěrbinu dvou vytápěných válců o různých rychlostech a následně je tato hmota dále odváděna na válcovací linku
- odlévání:**
 - polymer v tekutém stavu je nalit do formy a pomalou polymerací vzniká konečný výrobek
 - lití do statických i gravitačních forem
 - nízké náklady na formy, nízká rozměrová přesnost
 - výroba polotovarů: desky, trubky, tyče...
 - vhodné jak pro termoplasty (PVC, PA...), tak i pro reaktoplasty (epoxidové, polyesterové pryskyřice, PUR...)

Nejrozšířenější z těchto technologických způsobů je metoda vstřikování.

Počátek historie vstřikování plastů ve světě je spojován se jmény bratří Hyattů (John Wesley a Izák) a s náhodným objevem prvního termoplastu, jímž byl nitrát celulózy rozpuštěný v alkoholovém roztoku kafru, později známý jako celuloid.

To bylo v roce 1870. Na zpracování tohoto materiálu postavili bratři Hyattové zařízení, sestávající z parou vytápěného válce s hydraulickým pístem ve vertikální poloze a tryskou, umístěnou kolmo na osu válce a dosedající na dvoudílnou ocelovou formu, která byla uzavírána druhým hydraulickým válcem.

Vtok byl veden přímo do dělicí roviny formy . Toto byl první vstřikovací stroj, na kterém byly vyrobeny první výstřiky: nitrátem celulózy byly obstříkovány kovové přrky pro potřebu armády USA a dřevěná jádra štětek na holení. [6]



Obr. 2.3: první vstřikovací stroj bratří Hyattových [6]

Ještě do 20. let 20. století se rovnocenně používaly jak stroje mechanické tak hydraulické, které pak již ve 30. stejného století tvořily výhradní konstrukční směr.

Během 60. letech byla koncepce pístových strojů výrobci postupně nahrazována stroji šnekovými a tento způsob konstrukce vstřikovacích strojů nebyl doposud překonán.



Obr. 2.4: Pístový hydraulický lis, TOS Rakovník po r.1949 [6]



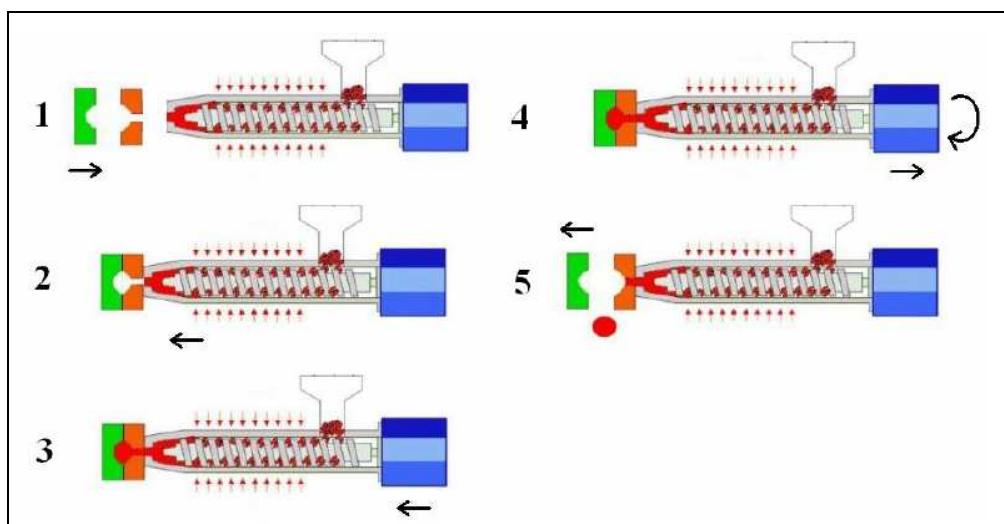
Obr. 2.6: Horizontální vstřikovací stroj Intec 250 model r. 2010 [6]

Popis vstřikování šnekovým lisem:

je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje během cyklu. Výhody vstřikování jsou krátký čas cyklu, schopnost vyrábět složité součásti s dobrými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou, ale i konstrukční flexibilita, která umožňuje odstranění konečných úprav povrchu a montážních operací. Hlavní nevýhodou, v porovnání s ostatními metodami zpracování plastů, jsou vysoké investiční náklady, dlouhé doby nutné pro výrobu forem a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v

porovnání s vyráběným dílem.

Postup vstřikování je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavící komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje. [7]



Obr. 2.7: Schematické znázornění vstřikovacího cyklu šnekového lisu [7]

(1-uzavření vstřikovací formy a naběrání požadovaného objemu plastu do plastifikační jednotky otáčením šnekového pístu; 2-zahřívání,plastifikace a uzavření formy; 3-plnění dutiny formy a dotlak, 4-plastikace, 5-otevření formy a vyhození výlisku)

2.1.4. ABS (Akrylonitril-butadien-styren): charakteristika, použití

Amorfní plast, které se vyrábí polymerací nafty za poměrně nízkých nákladů. Z chem. pohledu se jedná o kaučuk kopolymerovaný styrenem.

Je tuhý, pevný a má velmi dobrou houževnatost, bez přísad křehký.

Použití: součástky automobilů jako jsou přístrojové desky, krytky, kliky dveří, chlydičové masky, dále se používají u domácích spotřebičů nebo i jako polotovary trubky desky... Jako polotovar ve tvaru vlákna se používá v RP (metoda FDM) ke stavbě prototypových 3D modelů.

Podle přísad je použitelný do $70\div 100^{\circ}\text{C}$, odolný kyselinám, zásadům, olejům a tukům. Neodolává rozpouštědlům. Proti nepříznivému působení UV záření, které na tomto materiálu způsobuje křehnutí, se výrobky z ABS barví.

Tab. 2.1: ABS- některé char. Vlastnosti [8]

Vlastnost	Jednotka	Houževnatý	Vysoce houževnatý	Tepeľně odolný
Hustota	g/cm ³	1,04-1,05	1,02-1,04	1,05-1,07
Modul pružnosti v tahu	MPa	2000-2600	1500-2000	1700-3000
Pevnost v tahu	MPa	40-60	30-45	45-62
Pevnost v ohybu	MPa	70-80	45-65	70-100
Tažnost	%	20	30	do 20
Rázová houževnatost Charpy, 23 °C	kJ/m ²	80-bez lomu	bez lomu	60-bez lomu
Rázová houževnatost Charpy, -40 °C	kJ/m ²	50-60	bez lomu	20-80
Vrubová houževnatost Charpy, 23 °C	kJ/m ²	8-12	20-30	8-16
Vrubová houževnatost Charpy, -40 °C	kJ/m ²	3-5	5-10	1-8
Rázová houževnatost Izod, 23 °C	kJ/m ²	85-100	bez lomu	75-100
Rázová houževnatost Izod, -30 °C	kJ/m ²	50-60	150	40-50
Vrubová houževnatost Izod, 23 °C	kJ/m ²	20-26	35-39	13-23
Vrubová houževnatost Izod, -30 °C	kJ/m ²	6-12	22-25	6-10
Tvrdost kuličkou 358/30	MPa	85-110	65-75	90-135
Tvarová stálost za tepla ISO 75 A (1,8 MPa)	°C	90-100	85-95	95-111
Tvarová stálost za tepla ISO 75 B (0,45 MPa)	°C	95-103	93-101	100-116
Teplota měknutí dle Vicata B	°C	90-105	90-100	102-121
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	8-10	9-12	7-11
Teplota skelného přechodu	°C	90	85	100

2.2. RAPID PROTOTYPING

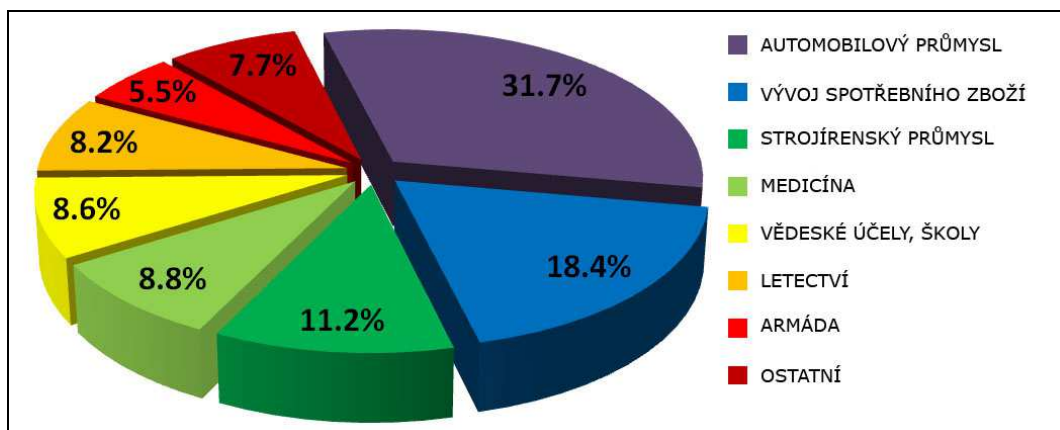
2.2.1. Princip, význam, popis jednotlivých technologií

Rapid prototyping (RP) je poměrně novým nástrojem konstruktérů, návrhářů a techniků při rychlé výrobě prototypových dílů. I když princip výroby 3D modelů složením jednotlivých tenkých vrstev byl znám již koncem 19. století, teprve roku 1988 se svět dočkal prvního komerčního plně automatizovaného zařízení na principu stereolitografie, které dokázalo vytvořit model podle dodaných CAD dat. Následný rozmach tohoto odvětví v mnohém zdokonalil stávající postup a dal vzniknout zcela novým metodám.

Jsou odvětví průmyslu, které by si bez této technologie nedokázaly svou činnost už ani představit a souvisí to především v časové úspoře, kdy je možné nový díl či výrobek v reálném stavu během několika hodin vyzkoušet, posoudit nebo představit zákazníkovi.



Obr. 2.7: Symbolické znázornění procesu RP [9]

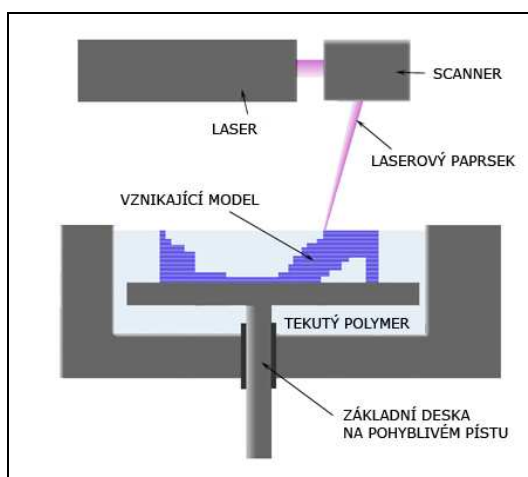


Obr. 2.8: Současné celosvětové využití metod RP v různých odvětvích [10]

2.2.2. Popis jednotlivých základních technologií RP

Stereolithography – SLA, SL

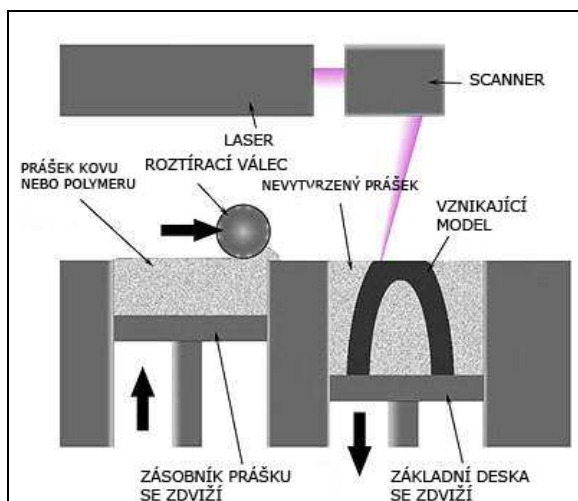
Technologie je založená na tekuté světlocitlivé pryskyřici, která při aktivaci laserem tuhne. Stůl se vždy o kousek ponoří do pryskyřice a laser posvítí na místa, která mají ztuhnout. Tím se na stole vytvoří jedna vrstva součástky. Takto se vrstvením vytvoří finální prototyp. Nevýhodou je toxicita pryskyřice. [11]



Obr. 2.9: Metoda SLA [12]

Selective Laser Sintering – SLS

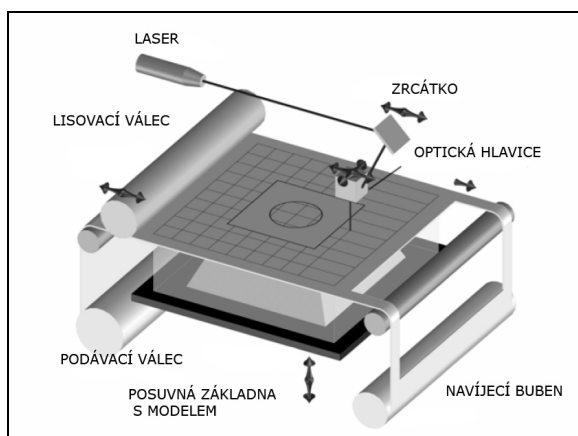
Výběrové laserové spékání využívá speciálního prášku, který na stůl v komoře vyplněné dusíkem nanáší v tenké vrstvě válec. Stůl s tenkou vrstvou prášku pak v místech, která jsou potřeba „vytisknout“ osvítí silný laser a tím prášek speče. Stůl se pak o tloušťku vrstvy posune dolů a proces se opakuje do vytvoření celého prototypu. Tato technologie jediná umožňuje výrobu prototypu z kovů. [11]



Obr. 2.10: Metoda SLS [13]

Laminated Object Manufacturing – LOM

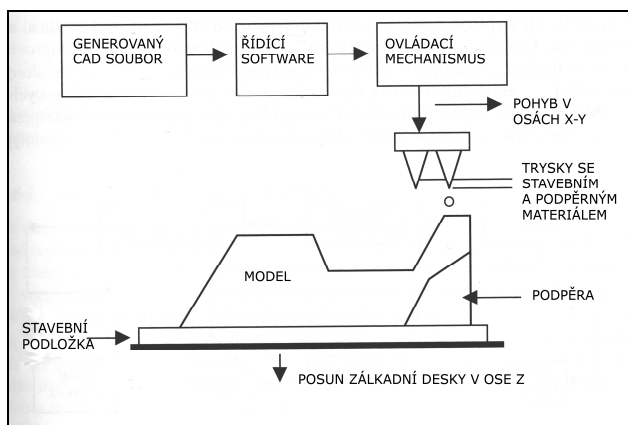
Tato technologie používá fólie, které vrství na sebe a v místech vrstvy součásti vyřezává laserem a spéká. [11]



Obr. 2.11: Metoda LOM [14]

Fused Deposition Modeling – FDM

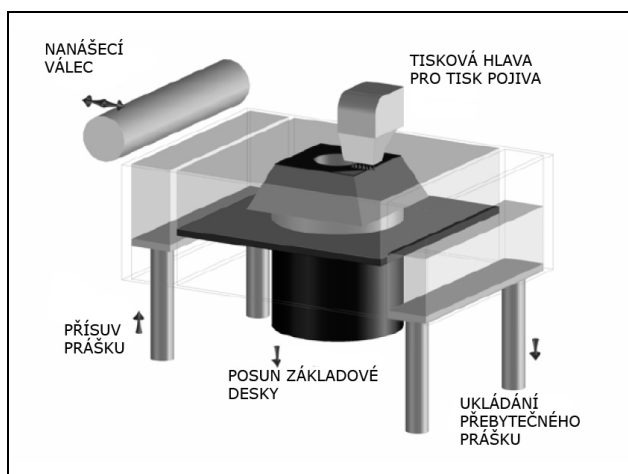
Tato technologie využívá dvou materiálů – stavěcího a materiálu podpor. Funguje na podobném principu jako tavná pistole – materiál je z cívky odvíjen do hlavičky, kde se odtavuje a je nanášen na stůl. Materiál podpor se využívá v místech, kde by při tisku musel stavěcí materiál „viset“ ve vzduchu. Po vytvoření modelu se buď odláme nebo se rozpustí ve speciální lázni. [11]



Obr. 2.12: Metoda FDM [15]

Three Dimesional Print – 3DP

Principiálně vychází tato technologie z inkoustové tiskárny, kde na místo barvy je injektážní hlavou nanášeno na tenkou vrstvu prášku pojivo.



Obr. 2.13: Metoda 3DP [16]

2.3. MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ

2.3.1. Rozdělení, význam, popis

[6] Podle účelu a způsobu zkoušení lze mechanické vlastnosti rozdělit takto:

a) Mechanické vlastnosti zjišťované krátkodobým působením statické síly nebo statického napětí. Zjišťuje se chování zkoušeného materiálu za konkrétních podmínek napětí, deformace, teploty a času. Jednotlivé podmínky se mohou měnit v širokém rozmezí podle účelu zkoušky, s výjimkou doby trvání zkoušky, která se buď nemění vůbec, nebo jen v mezích, které nemají vliv na hodnotu zjišťované vlastnosti. Krátkodobých zkoušek se používá hlavně pro rychlou kontrolu jakosti. Hlavním požadavkem je dobrá reprodukovatelnost výsledků bez zřetele na možnosti jejich širšího využití v praxi.

b) Mechanické vlastnosti zjišťované dlouhodobým působením statické síly nebo statického napětí. Zjišťuje se chování materiálu za konkrétních zkušebních

podmínek v podstatně delším časovém úseku, než je tomu u zkoušek krátkodobých. Zjišťují se závislosti hodnot zkoušených vlastností na čase. Podmínky zkoušky (napětí, teplota, event. vlhkost) se mohou měnit v širokém rozmezí podle účelu zkoušek. Dlouhodobé zkoušky slouží ke zjišťování inženýrských vlastností, jejichž znalost podmiňuje správnou aplikaci plastických hmot.

c) Mechanické vlastnosti zjišťované cyklicky nebo acyklicky měnícím se napětím. Zkouší se únava materiálu) za určitých podmínek časově proměnného namáhání, konstantní teploty event. vlhkosti. Doba trvání zkoušky je buď předepsána, nebo závisí na odolnosti materiálu proti únavě (zkouška do porušení).

2.3.2. Zkušební tělesa

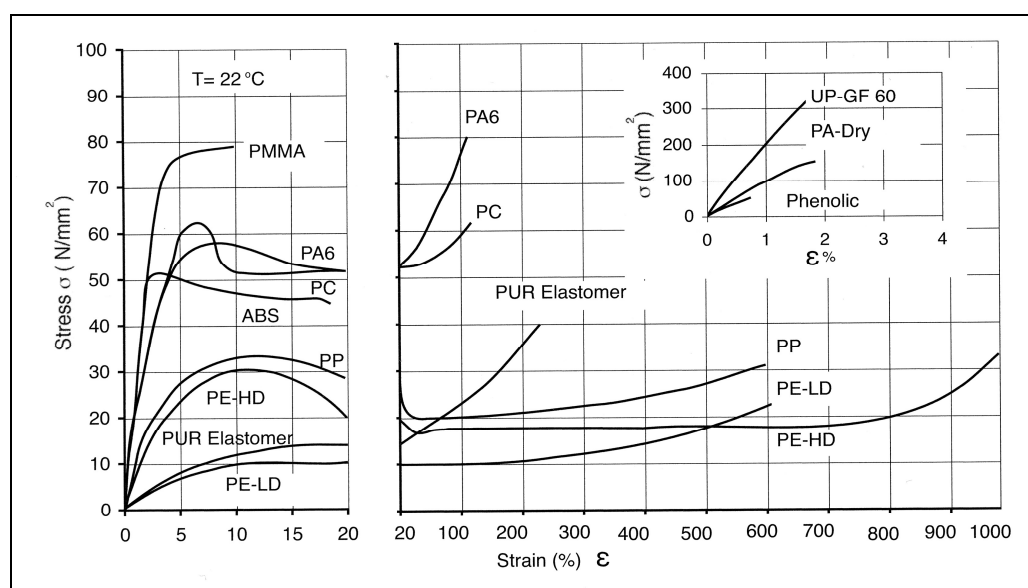
[6] Výsledky zkoušek jsou závislé na tvaru zkušebních těles a technologii jejich přípravy, opracování a úpravě. Technologie přípravy zkušebních těles je zpravidla stejná jako technologie zpracování zkoušené plastické hmoty. Termoplasty se zpracovávají vstřikováním do formy, válcováním, vytlačováním nebo lisováním, termosety převážně lisováním. Při vstřikování a lisování se připravují zkušební tělesa v konečném tvaru. Lisováním, válcováním a vytlačováním se vyrobí nejdříve deska, tyč nebo trubka a z nich se zhotovují zkušební tělesa strojním obráběním.

Pro zkoušky jakosti výrobků se zkušební tělesa připravují z výrobků vyříznutím a strojním opracováním. Místo odběru vzorku pro přípravu zkušebního tělesa musí být na výrobku přesně vymezeno.

2.3.3 Popis jednotlivých mech. zkoušek plastů

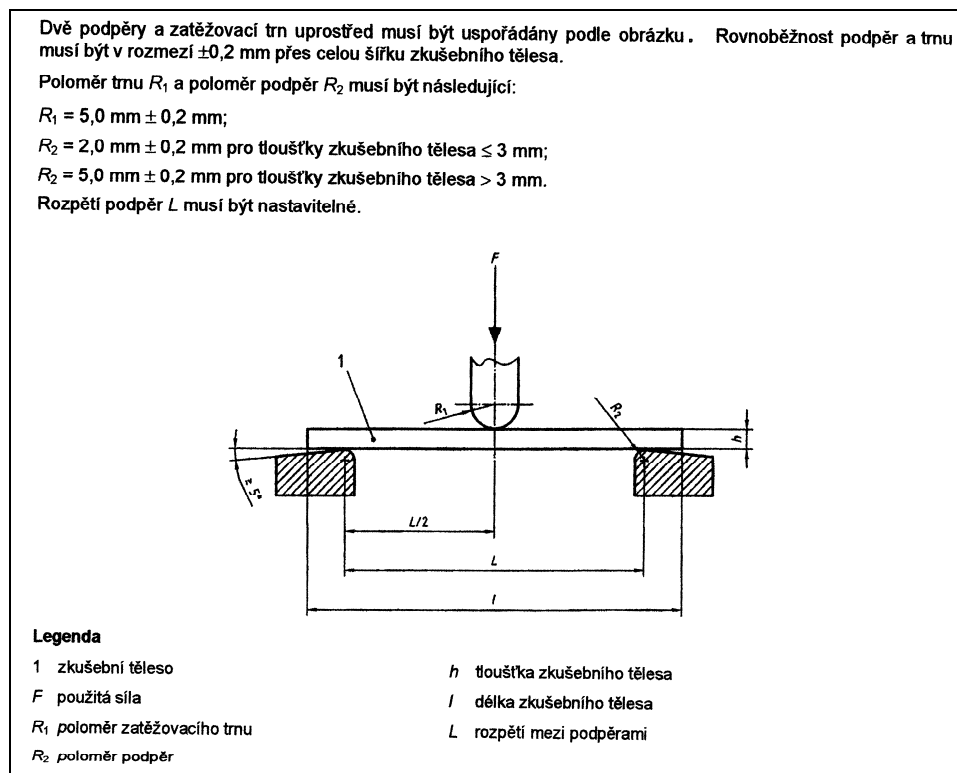
Zkouška tahem dle ČSN EN ISO 527

Zkušební těleso specifického tvaru a rozměru dané normou je protahováno zvolenou konstantní rychlostí do té míry, než je dosaženo očekávané hodnoty napětí nebo do okamžiku porušení. Během testu se sleduje poměrné prodloužení v závislosti na zatěžující síle. Slouží ke stanovení meze pevnosti v tahu, modulu pružnosti v tahu a dalších tahových vlastností za konkrétních podmínek.

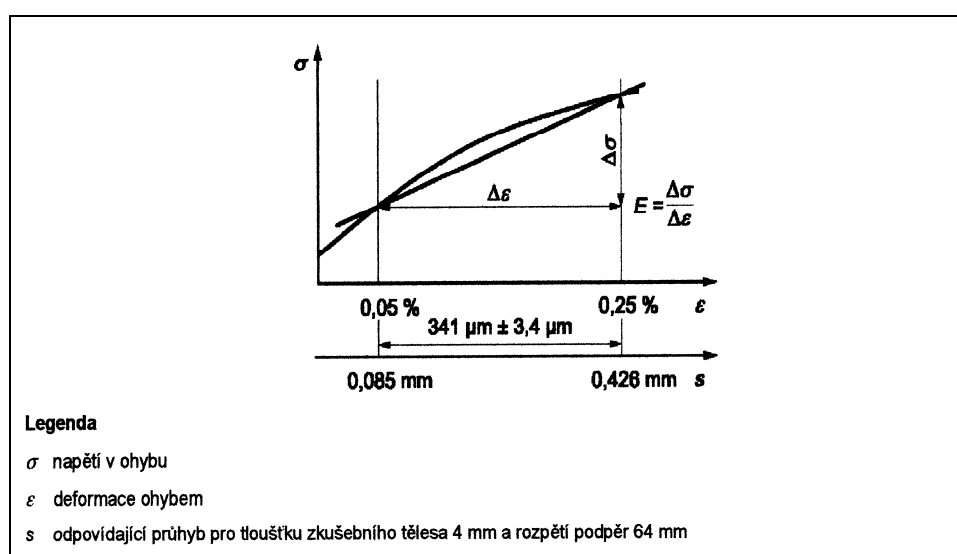


Obr. 2.14: Graf napětí v tahu / poměrné prodloužení pro vybrané polymery [17]

Podstata zkoušky: zkušební těleso odelníkového průřezu na dvou podpěrách, je konstantní rychlostí prohýbáno trnem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se zkušební těleso nerozломí na svém vnějším povrchu nebo dokud deformace nedosáhne maximální hodnoty 5%, podle toho, který případ nastane dříve. V průběhu tohoto postupu je naměřena síla působící na zkušební těleso a výsledný průhyb zkušební tělesa uprostřed mezi podpěrami. [19]



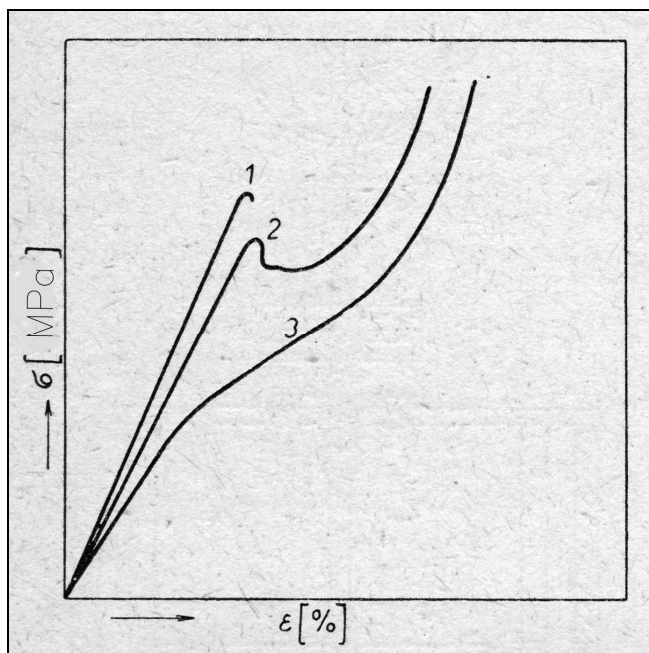
Obr. 2.17: Poloha zkušební tělesa mezi podpěrami a zatěžovacím trnem na začátku zkoušky [19]



Obr. 2.18: Požadavky na přesnost při stanovení modulu pružnosti v ohybu [19]

Zkouška tlakem dle ČSN EN ISO 604

K této zkoušce se používá univerzálních trhačích strojů, kdy je vzorek materiálu zatěžován silou mezi dvěma deskami, z nichž jedna má kloubové uložení. Používá se ke stanovení tlakových vlastností (mez kluzu v tlaku, pevnost v tlaku).



Obr. 2.19: Typy pracovních diagramů tlakové zkoušky:
1-křehké plasty; 2-středně houževnaté; 3-houževnaté. [18]

Zkouška tvrdosti dle ČSN EN ISO 2039 (Brinell)

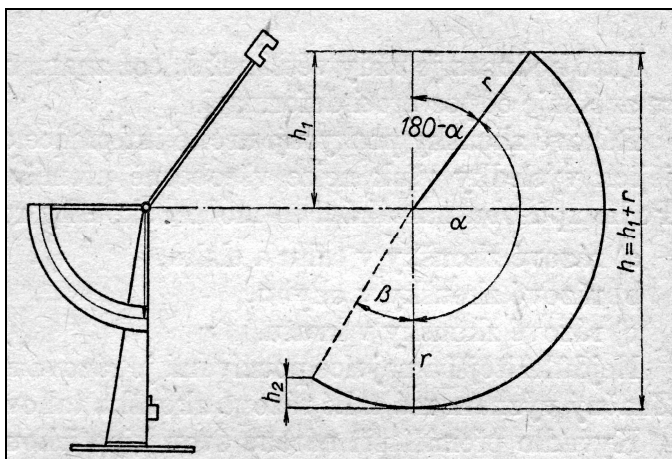
Obdobně jako u kovů se u plastů sleduje jeho tvrdost. Touto zkouškou se vtlačuje ocelová kulička o $D=5\text{mm}$ konstantní silou do povrchu vzorku a přitom se indikátorem odečítá hloubka vtisku. Hloubka důlku by měla nabývat hodnot v rozmezí $h=0,02D$ až $0,2D$. Při menších hloubkách se zvyšuje zatěžující síla.

Zkouška tvrdosti dle ČSN EN ISO 868 (Shore)

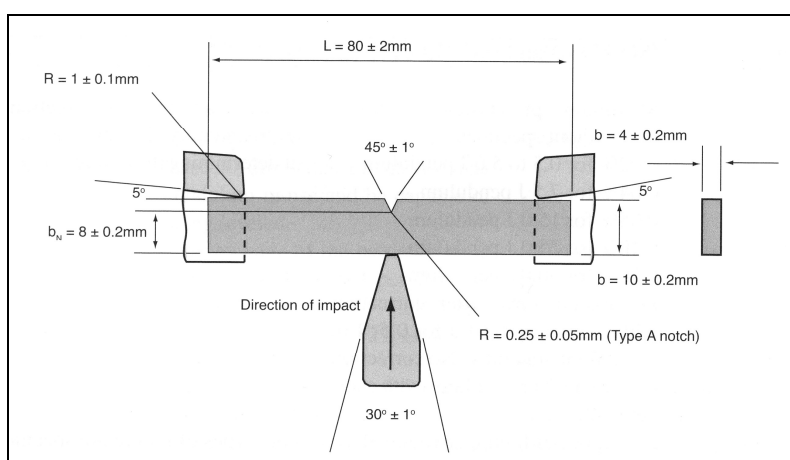
Principem je vtlačování kužele (Shore D) nebo komolého kužele (Shore A) do povrchu vzorku pomocí pružinového mechanismu v časovém úseku $15\pm 1\text{ s}$. Hodnota tvrdosti ve $^{\circ}\text{Sh}$ se odečítá na stupnici zkušebního přístroje.

Rázová zkouška dle ČSN EN 179 (Charpy)

Touto metodou se zjišťuje schopnost materiálu odolávat iniciaci a šíření trhlin a to podle energie, která se při této zkoušce spotřebuje na porušení zkušební tělesa. Zkušebním zařízením je tzv. Charpyho kladivo, do kterého se vkládá pod dvě podpěry zkušební vzorek s vrubem. Na vzorek je pak z určité dané výšky spuštěno kyvadlo s tupým hrotem a zjišťuje se energie jednotlivých fází procesu.



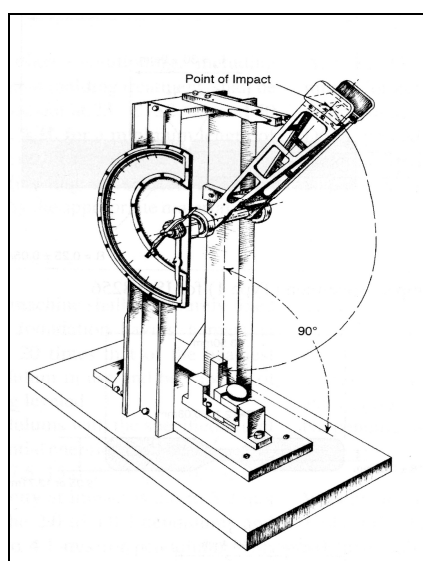
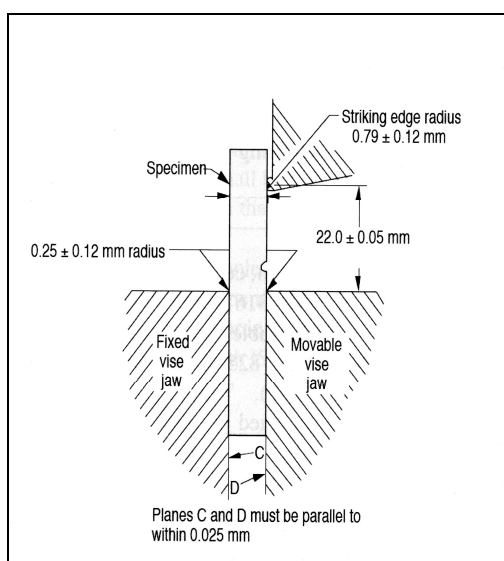
Obr. 2.20: Charpyho kladivo [18]



Obr. 2.21: Vzorek s vrubem pro zkoušky Charpyho kladivem [17]

Rázová zkouška dle ČSN EN ISO 180 (Izod)

Obdobná zkouška jako u předchozí metody. V tomto případě se sleduje tzv. čistá energie potřebná k přeražení letmo upevněného vzorku s vrubem



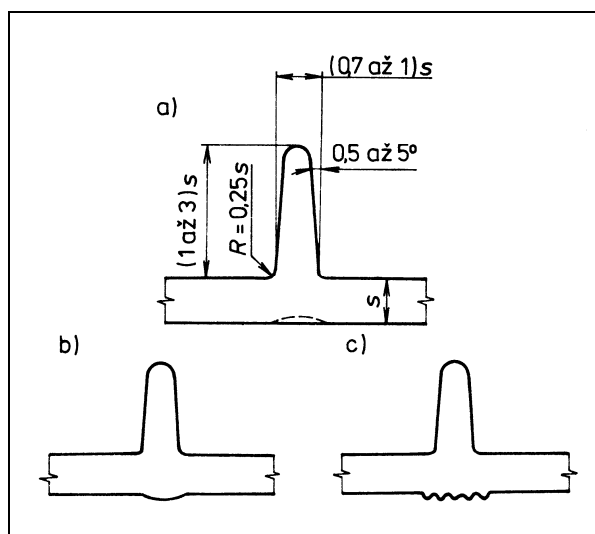
Obr. 2.22: Zkušební vzorek metody Izod Obr. 2.23: Zkušební zařízení typu Izod [17]

Další zkoušky:

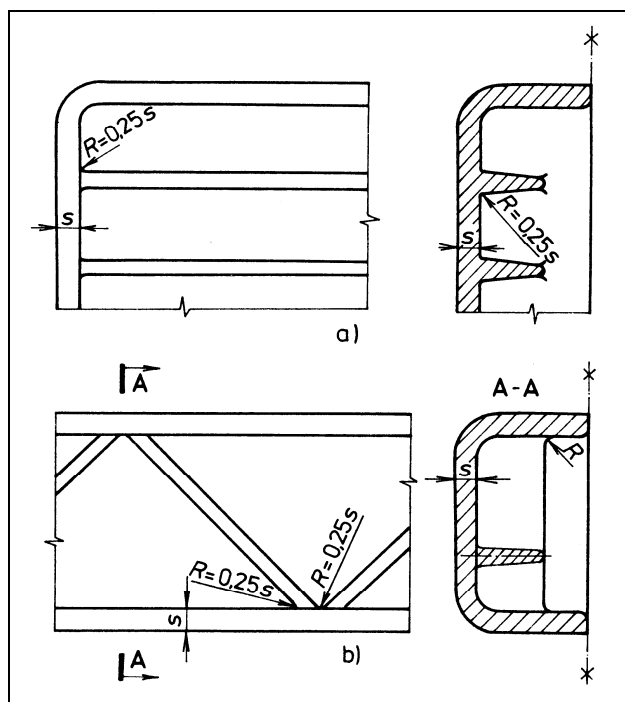
- zkoušky tečení
- zkoušky na padostroji
- zkoušky na opotřebení
- únavové zkoušky časově proměnným namáháním
- zkoušky ke zjištění koeficientu tření

2.4. ZPŮSOBY ŽEBROVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLŮ**2.4.1. Popis, význam**

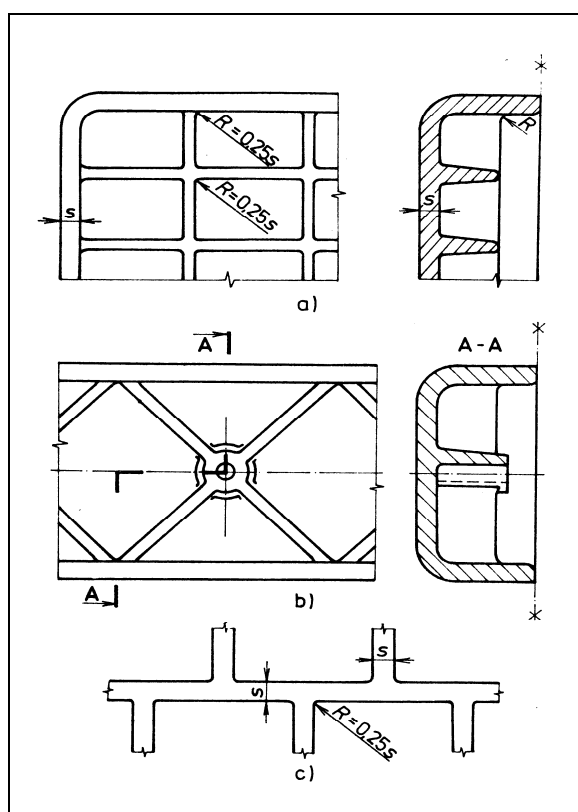
Žebra se používají velmi často k vyztužení výstřiků a umožňují tak použít tenké stěny. Profil žebra musí mít určitý vztah k tloušťce stěny, aby nenastaly nežádoucí deformace. Optimální tvar výztužného žebra je na Obr.2.24a). Na zadní stěně proti žebro se obvykle objeví malá mělká rýha následkem nahromadění materiálu v místě připojení žebra ke stěně (na Obr. 2.24a) je naznačena čárkovaně). Tomuto vzhledovému porušení zadní stěny lze předejít úmyslným vytvořením drážky nebo výstupku nebo rýhování, např. podle Obr.2.21b) a 2.24c), čímž se porušení vzhledu zakryje. Nejčastější uspořádání žeber je na Obr. 2.25 a 2.26. Rovnoběžná žebra (Obr. 2.25a)) zvyšují tuhost v ohybu v jednom směru. Diagonální žebra (Obr.2.25b)) zvyšují tuhost v ohybu a kroucení. Nejvyšší tuhost v ohybu a v kroucení dávají žebra křížová, která mohou být rovnoběžná se stěnami nádoby (Obr.2.26a)) nebo diagonální (Obr.2.26b)). Výška a profil křížujících se žeber mají být kvůli vnitřnímu pnutí vždy stejné. Ve všech případech je nutno dbát na to, aby v místě křížování žeber a připojování žeber ke stěnám nenastalo hromadění materiálu, a proto je třeba dodržovat rádiusy uvedené na Obr. 2.25 a 2.26. Zásadně je vždy lepší větší počet menších žeber než malý počet větších žeber. Vzdálenost mezi žebry bývá 5násobek až 10násobek tloušťky stěny. Přesazené mřížkové žebrování podle Obr.2.26c) je výhodné z hlediska omezení hromadění materiálu a sníženého pnutí v místech styku, ale výroba formy je poněkud nákladnější. [20]



Obr. 2.24: a) optimální tvar, b,c) výstupek nebo rýhování na zadní stěně k zakrytí propadlin. [20]



Obr. 2.25: Jednoduché žebrování a) rovnoběžné, zvyšuje tuhost v ohybu v jednom směru, b) diagonální, zvyšuje tuhost v ohybu a kroucení [20]



Obr. 2.26: Křížové žebrování (značné zvýšení tuhosti v ohybu A kroucení a) rovnoběžné s bočními stěnami, b) diagonální Se středovým sloupkem s vybráním pro samořezný šroub, c) přesazené mřížkové s minimálním pnutím v místě styku [20]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1.1. Návrh a konstrukce modelů

Rozměry a způsoby žebrovaní zkušebních vzorků byly navrženy tak, aby se v co největší míře přiblížily reálným plastovým dílům a zároveň by je bylo možné testovat na rozměrově podobném přípravku jako materiálové vzorky pro zkoušky stanovení ohybových vlastností dle ČSN EN ISO 178.

Základ každého žebrovaného vzorku tvoří dno a obvodové stěny o jednotné tloušťce stěn 2mm, půdorysu 70x70mm a výšce bočních stěn a žebrování ve dvou rozměrových řadách a to pro 3 a 8mm. Dále byla navržena rozteč samotných žeber s ohledem na základní rozměr vzorku a to na 11 a 16,5mm. S přihlédnutím na možnosti výroby vzorků zvolenou metodou RP bylo upuštěno od konstrukce rádiusů hran, které se v technické praxi používají. (Přílohy č.1÷4)

Samotný návrh byl vytvořen pomocí softwaru Solid Edge ST3, což je hybridní 2D/3D návrhový systém od společnosti SIEMENS PLM software, v kterém je možné převádět data „z“ i „do“ jiných CAD systémů. Tento 3D modelář je vybaven podprogramem Simulation Express, který umožňuje výpočty metodou konečných prvků.

3.1.2. Výroba vzorků metodou Rapid Prototyping

K výrobě vzorků použitelných pro další pevnostní zkoušky by nejlépe vyhovoval materiál pevný a houževnatý. Pro tento záměr byl zvolen polymer ABS, který je znám pro své dobré mechanické vlastnosti, a je zároveň typický pro jednu z metod RP - Fused Deposition Modeling (FDM). Touto technologií bylo vyrobeno celkem 5 ks vzorků pro mechanickou zkoušku materiálu a 28ks různých žebrovaných vzorků (Přílohy č. 3 a 4) pro porovnávací ohybovou zkoušku.

Samotná realizace výroby se tak uskutečnila na výrobním zařízení firmy STRATASYS řady Dimension 1200 (Příloha č.9) a byl použit materiál ABS-M30 (příloha č.10) od stejného výrobce.



Obr. 3.2: Výrobní zařízení Dimension 1200 [9]



Obr. 3.3: Pohled do výrobního prostoru 3D tiskárny



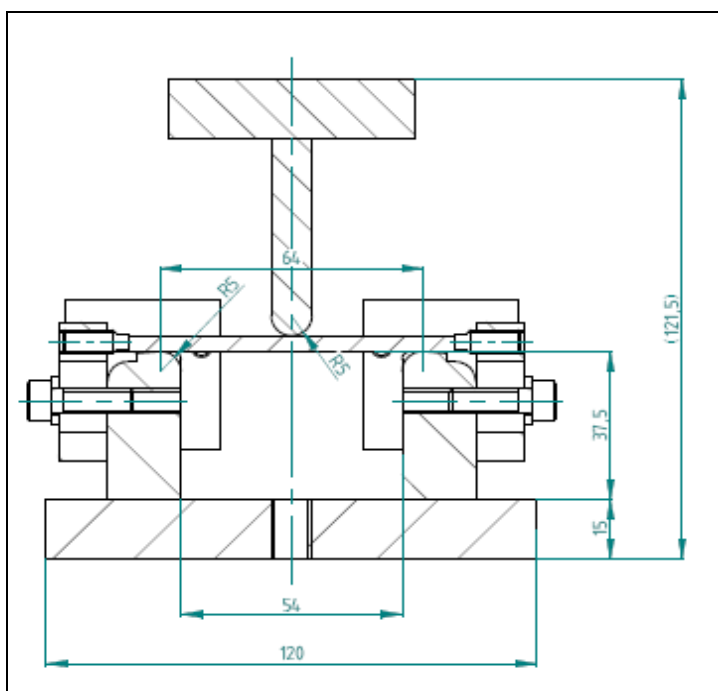
Obr. 3.4: Vyjmutá pracovní paleta s již vyrobenými modely

3.2. ZKOUŠENÍ VZORKŮ

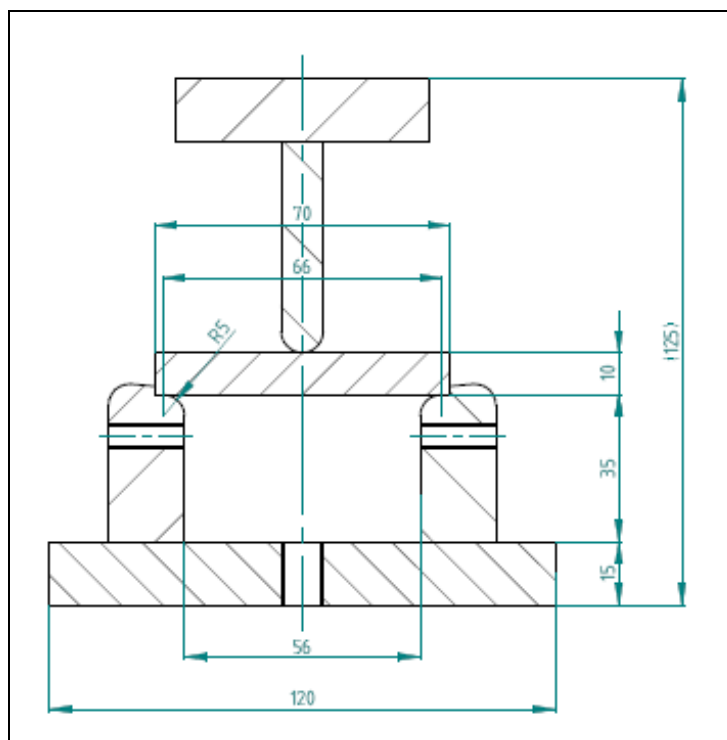
3.2.1. Návrh a konstrukce zkušebního třmenu s trnem

Zkušební třmen (tj. přípravek pro ustavení zkuš. vzorku při měření, Příloha č.7) byl navržen tak, aby plně vyhověl normě ČSN EN ISO 178 a zároveň byl po jednoduché přestavbě použitelný i pro zkoušku na ohyb žebrovaných vzorků.

Základnu tvoří masivní ocelová deska o tl. 15mm a k ní jsou připevněny dvě podpěry v horní části opatřené rádiusy. Základna má v sobě zhotovené drážky k variabilnímu nastavení rozpětí podpěr dle potřeb měření. Pro zkoušku materiálových vzorků byly navrženy vodítka pro přesné ustavení. Dále byl k přípravku vyroben zatěžovací trn o šířce 90mm.



Obr. 3.5: Řez sestavou třmenu při zkoušce mat. vzorků



Obr. 3.6: Řez sestavou třmenu při zkoušce žebrovaných vzorků

3.2.2. Zkouška materiálových vzorků na ohyb dle ČSN EN ISO 178

Popis zkoušky v podkapitole 2.3.3

Tab. 3.1: Přehled položek použitých k provedení zkoušky dle ČSN ISO 178

Pol.č.	Název	Typ, popis, rozměr	KS
1	Zkušební zařízení	Hounsfield H10KT se snímací křížovou hlavou 500N, přesnost 0,5% působící síly	1
2	Zkušební přípravek-třmen	Stavitelný viz výkresová dokumentace v příloze	1
3	Posuvné digitální měřidlo	Mitutoyo 150mm, přesnost $\pm 0,02\text{mm}$	1
4	Mechanický mikrometr	Somet 0÷25mm, přesnost $\pm 0,01\text{mm}$	1
5	Digitální úchylkoměr	Mitutoyo ID-H, přesnost $\pm 0,0015\text{mm}$	1
6	Příložný úhelník	Somet 60x100mm	1

Tab. 3.2: Přehled podmínek při zkoušce dle ČSN ISO 178

Pod.č.	Název	Popis, údaj
1	Rozpětí podpěr zkuš. přípravku	$64 \pm 0,2\text{mm}$
2	Rychlost posuvu křížové hlavy	2mm/min; Metoda A=jedna stálá rychlost pro celou oblast měření
3	Počáteční napětí na vzorku	Vyvolání napětí na zkušebním tělese zatížením silou o velikosti 2N a vynulování měření průhybu
4	Teplota místnosti laboratoře	21°C
5	Datum konání zk.	19.12.2012

Tab. 3.3: Charakteristika materiálu zkušebních vzorků udaná výrobcem

Údaj	Popis, hodnota
Výrobce	Stratasys, USA
Materiál-označení	ABS-M30
Způsob výroby vzorků	Rapid prototyping: FDM
Pevnost v ohybu	61MPa
Modul pružnosti v ohybu	2317MPa
Tažnost	4%
Hustota	1,04g/cm ³

Tab. 3.4: Rozměry zkušebních vzorků (požadované i skutečné). Všechny rozměry v milimetrech.

Vzorek	Délka, l	Šířka, b	Tloušťka, h
Požadované rozměry přednostního typu zkuš. tělesa	80±2	10,0±0,2	4,0±0,2
Vzorek č.1	80,0	10,0	4,44
Vzorek č.2	80,0	10,0	4,44
Vzorek č.3	80,0	10,0	4,35
Vzorek č.4	80,0	10,0	4,31
Vzorek č.5	80,0	10,0	4,38

Zpracování dat a výpočty: záznamovým zařízením zkuš. stroje byly nasnímány ke každému vzorku hodnoty síla/průhyb. Z takto získaných dat se v programu Microsoft Excel pomocí příslušných rovnic sestavil graf závislosti napětí v ohybu σ_f na deformaci ohybem ε_f . (Obr. 3.7)

Napětí v ohybu:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (3.1)$$

kde

σ_f je příslušné napětí v ohybu, [Mpa];
 F použitá síla, [N];
 L rozpětí podpěr, [mm]
 b šířka zkušebního tělesa, [mm];
 h tloušťka zkušebního tělesa, [mm].

Deformace ohybem:

$$\varepsilon_f = \frac{6sh}{L^2} \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_f = \frac{600sh}{L^2} \% \quad (3.3)$$

kde

ε_f je příslušné deformace ohybem, vyjádřená jako bezrozměrné číslo [-]

nebo v [%];

s průhyb, [mm];

L rozpětí podpěr, [mm];

h tloušťka zkušebního tělesa, [mm].

Modul pružnosti v ohybu: pro stanovení modulu pružnosti v ohybu se vypočítají průhyby s_1 a s_2 odpovídající daným hodnotám deformace ohybem $\varepsilon_{f1}=0,0005$ a $\varepsilon_{f2}=0,0025$ podle rovnice:

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i=1 \text{ nebo } 2) \quad (3.4)$$

kde

s_i je jeden z průhybů, [mm];

ε_{fi} odpovídající deformace ohybem, jejichž hodnoty ε_{f1} a ε_{f2} jsou uvedeny výše;

L rozpětí, [mm];

H tloušťka zkušebního tělesa, [mm].

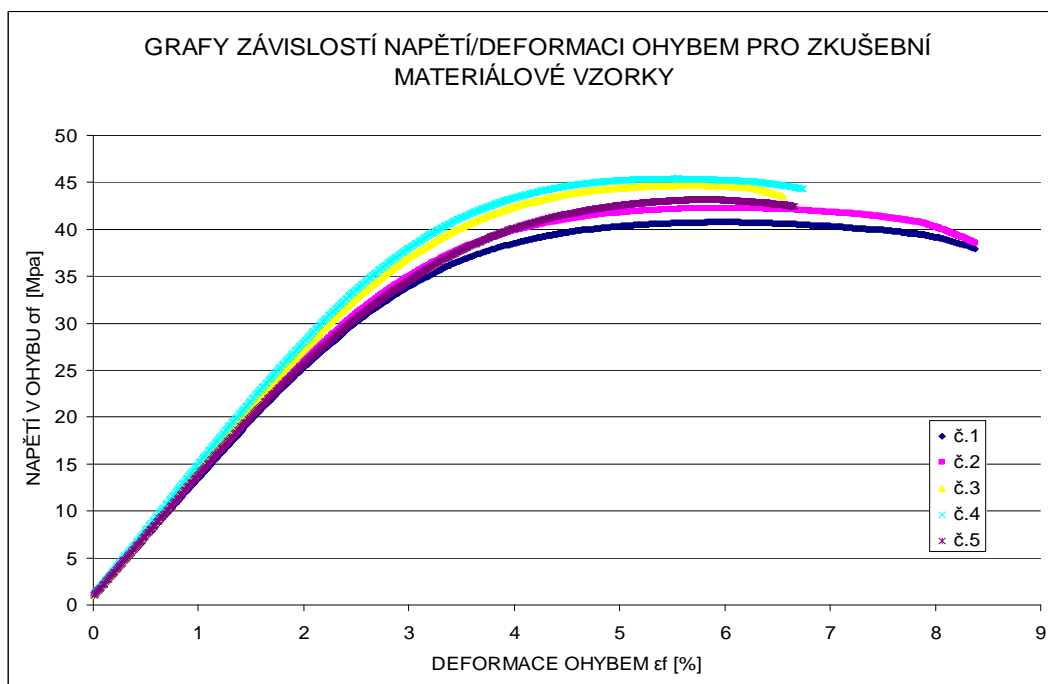
Modul pružnosti v ohybu E_f , v megapascálech, se vypočítá z rovnice:

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (3.5)$$

Kde

σ_{f1} je napětí v ohybu, [Mpa], měřené při průhybu s_1 ;

σ_{f2} je napětí v ohybu, [Mpa], měřené při průhybu s_2 .



Obr. 3.7: Graf křivek napětí v ohybu σ_f versus deformace ohybem ϵ_f pro jednotlivé zkušební mat. vzorky.

Tab. 3.5 Vypočtené a zjištěné veličiny

Vzorek	s_1 [mm]	s_2 [mm]	σ_{f1} [MPa]	σ_{f2} [MPa]	σ_{fM} [MPa]	E_f [MPa]	\bar{E}_f [MPa]
Č.1	0,077	0,384	1,577	4,032	40,76	1227,17	1334,12
Č.2	0,077	0,384	1,529	4,110	42,27	1290,47	
Č.3	0,078	0,392	1,495	4,258	44,70	1381,18	
Č.4	0,079	0,395	1,652	4,492	45,30	1420,18	
Č.5	0,078	0,390	1,540	4,243	43,14	1351,60	

3.2.3. Zkouška žebrovaných vzorků na ohyb

Podobně jako u zkoušky materiálových vzorků dle ČSN ISO 178 byla provedena zkouška na ohyb žebrovaných vzorků (Přílohy č. 3 a 4). Byl použit stejný zkušební třmen (Příloha č.7), který byl pouze vhodně přestavěn s ohledem na rozměry žebrovaných vzorků (Přílohy č. 1÷4). Zátěžovým trnem byly namáhány vzorky vždy uprostřed kolmo na podélný směr.

Tab. 3.6 Přehled položek použitých k provedení zkoušky

Pol.č.	Název	Typ, popis, rozměr	KS
1	Zkušební zařízení	Tiratest 2300 se snímací křížovou hlavou KAW10kN, přesnost 0,1% působící síly	1
2	Zkušební přípravek-třmen	Stavitelný viz výkresová dokumentace v příloze	1
3	Posuvné digitální měřidlo	Mitutoyo 150mm, přesnost $\pm 0,02$ mm	1
4	Mechanický mikrometr	Somet 0÷25mm, přesnost $\pm 0,01$ mm	1
5	Digitální úchytkoměr	Mitutoyo ID-H, přesnost $\pm 0,0015$ mm	1
6	Příložný úhelník	Somet 60x100mm	1

Tab. 3.7 Přehled podmínek při zkoušce žebrovaných vzorků

Pod.č.	Název	Popis, údaj
1	Rozpětí podpěr zkuš. přípravku	66±0,2mm
2	Rychlost posuvu křížové hlavy	2mm/min; Metoda A=jedna stálá rychlost pro celou oblast měření
3	Počáteční napětí na vzorku	Vyvolání napětí na zkušebním tělese zatížením silou o velikosti 2N a vynulování měření průhybu
4	Teplota místnosti laboratoře	21°C
5	Datum konání zk.	19.12.2012

Zpracování dat a výpočty: záznamovým zařízením zkuš. stroje byly nasnímány ke každému vzorku hodnoty síla/průhyb. Z takto získaných dat byly v programu Microsoft Excel vyhotoveny příslušné grafy z nichž se pak vytvořily souhrnné srovnávací grafy jak pro žebrování o výšce 3mm (Příloha č.5) tak i pro žebrování vysoké 8mm(Příloha č.6).

Následně byly mezní hodnoty sil a průhybů zpracovány do tabulek a provedlo se procentuální porovnání k referenčním vzorkům č.4 (Příloha č.8).

3.3. CAD SIMULACE

3.3.1 Nastavení parametrů

U vybraných modelů (mat. zkušební vzorek, vzorek č.4-žebrování 3mm, vzorek č.4-žebrování 8mm a vzorek č.10-žebrování 8mm) nakreslených v 3D modeláři Solid Edge byla za pomoci jednoduchého výpočtáře Simulation Express (součást programu Solid Edge) provedena simulace zatížení na ohyb.

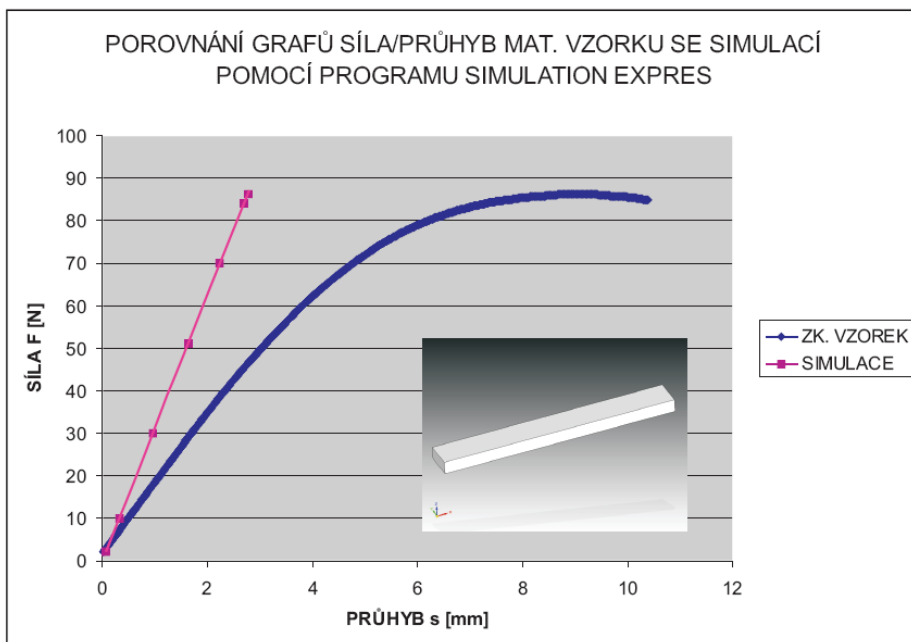
Do materiálové charakteristiky simulátoru byly zapsány údaje z měření materiálových vzorků a následně byla určena místa podpěr a zatěžující síly.

Tab. 3.8: Parametry nastavené do výpočtáře Simulation Express získané měřením mat. zkuš vzorků

Údaj	Popis, hodnota
Výrobce	Stratasys, USA
Materiál-označení	ABS-M30
Způsob výroby vzorků	Rapid prototyping: FDM
Mez kluzu	25MPa
Modul pružnosti v ohybu	1337MPa
Tažnost	5%
Hustota	0,973g/cm ³

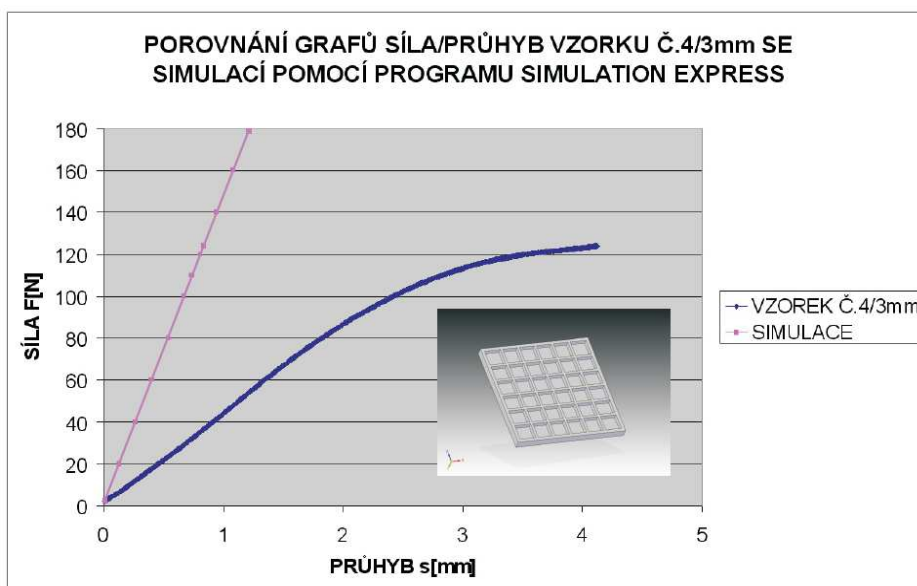
3.3.2 Porovnání simulace s měřením reálných vybraných vzorků

Zkušební materiálový vzorek byl zatěžován až do max. síly dosažené na reálném vzorku, tj. do 87,8N, a následně byly porovnávány obě výsledné křivky síly F [N]/průhybu s [mm].(Obr. 3.8)

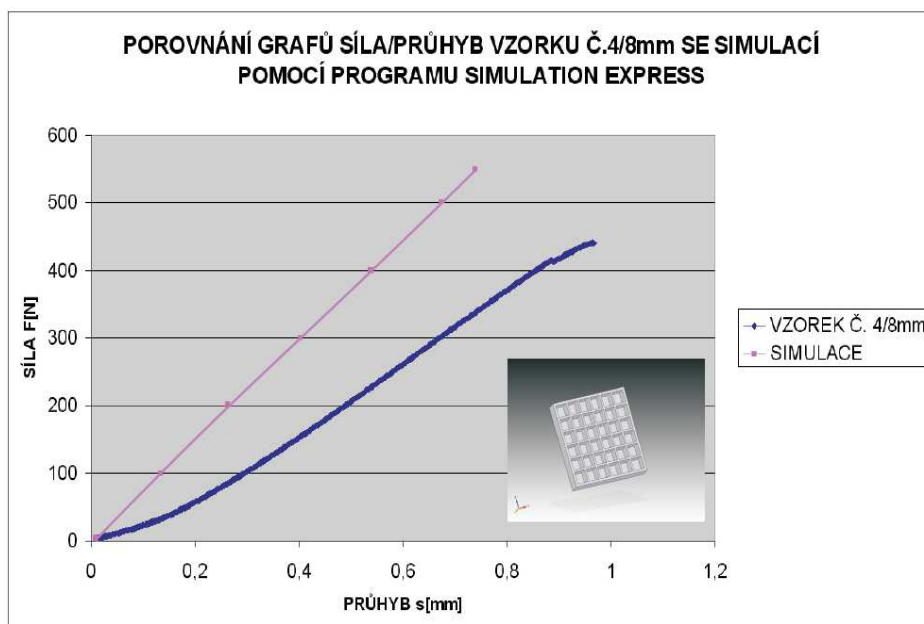


Obr. 3.8: Porovnání grafů síla/průhyb mat. vzorku se simulací pomocí programu Simulation Express

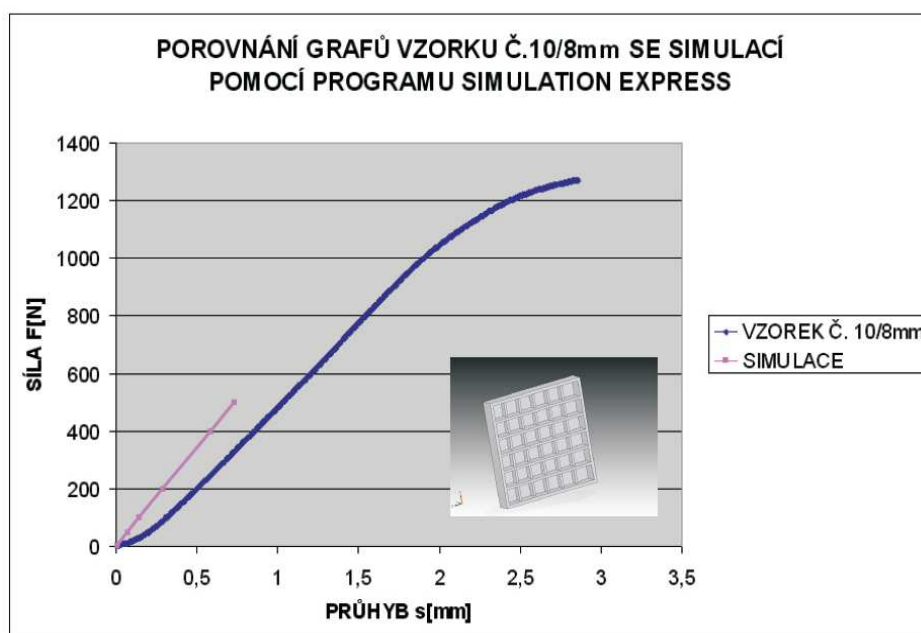
Vybrané zkušební žebrované vzorky byly v simulátoru postupně zatěžovány silou tak dlouho, než byla v kritickém místě (oblast největšího ohyb. napětí-tj. při reálné zkoušce místo pod zatěžovým trnem) zaznamenána hodnota koeficientu bezpečnosti $k=1$ [-]. Takto získané hodnoty byly zaneseny do srovnávacích grafů z reálných měření.



Obr. 3.9: Porovnání grafů síla/průhyb vzorku č.4/3mm se simulací pomocí programu Simulation Express



Obr. 3.10: Porovnání grafů síla/průhyb vzorku č.4/8mm se simulací pomocí programu Simulation Express



Obr. 3.11: Porovnání grafů síla/průhyb vzorku č.10/8mm se simulací pomocí programu Simulation Express

3.4. ZHODNOCENÍ

3.4.1 Zkouška dle ČSN EN ISO 178

Praktickou zkouškou a jejím vyhodnocením byly zjištěny skutečné vlastnosti materiálových vzorků vyrobené zvolenou metodou RP (Tab. 3.8), které pak bylo možné použít pro nastavení parametrů v počítačovém simulátoru.

3.4.2 Vzájemné porovnání zkoušek vzorků se žebrováním 3mm

Z dílčích měření byl sestaven přehledný srovnávací graf (Příloha č.5) a srovnávací tabulka (Příloha č.8), které tak dostatečně charakterizují ohybové vlastnosti jednotlivých druhů žebrování.

3.4.2 Vzájemné porovnání zkoušek vzorků se žebrováním 8mm

Z dílčích měření byl sestaven přehledný srovnávací graf (Příloha č.6) a srovnávací tabulka (Příloha č.8), které tak dostatečně charakterizují ohybové vlastnosti jednotlivých druhů žebrování.

3.4.3 Porovnání praktické zkoušky s CAD simulací

Výsledky simulací použitím jednoduchého 3D výpočtáře Simulation Express na vybrané vzorky ne příliš věrohodně popisují jejich ohybové vlastnosti a výstupem je pouze lineární závislost síla/průhyb, která se od výsledků reálných zkoušek liší (Obr. 3.8, 3.9, 3.10 a 3.11). Zkouška zatížení modelů v tomto simulátoru má podle tohoto srovnání charakter spíše informativní, v kterých místech lze očekávat největší koncentrace napětí, ale pro získání kvalitnějších zátěžových charakteristik by se muselo použít složitějších výpočetních programů.

4. ZÁVĚR

Touto bakalářskou prací byl navržen, a poté i realizován proces zkoušek a způsob vyhodnocení různě žebrovaných plastových rapid-vzorků namáhaných na ohyb, které by pak měly ve vzájemném srovnávacím grafu nebo tabulce charakterizovat ohybové vlastnosti podle různých druhů žebrování. Takto získané poznatky by pak bylo možné uplatnit při volbě vhodného žebrování dílů vyráběných vstřikováním. V praktické části byly dále vyzkoušeny metody RP od tvorby modelů v 3D-modeláři až po jejich konečnou výrobu. Pomocí zkoušky dle ČSN EN ISO 178 (Odstavec v 2.3.3) se získaly skutečné ohybové vlastnosti reálných vzorků, jejichž hodnoty byly následně využity ve výpočtovém programu pro 3D zátěžovou simulaci virtuálních modelů.

V teoretické části této práce byly popsány plast podle různých hledisek: historického vývoje, způsobu výroby, materiálových vlastností... Dále byly představeny metody RP pro tvorbu plastových modelů a druhy mechanických zkoušek plastů.

5. SEZNAM LITERATURY A ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ

- [1] ŘÍMAN JOSEF a kol. , Malá československá encyklopedie, ACADEMIA, Praha 1986, ISSN-21-096-86
- [2] WIKIPEDIA, PLAST [online], [cit. 2012/01/03]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Plasty#Historie>
- [3] WIKIPEDIA, PLAST [online], [cit. 2012/01/03]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Plasty>
- [4] SC NEWS č.1, periodikum, event.č. MK ČR E 12474, Servis centrum Brno s.r.o.
- [5] LENFELD, P., TECHNOLOGIE II.-interaktivní verze [cit. 2012/01/03]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01-plasty%20uvod/06-aplikace%20pyramida.jpg
- [6] MM Průmyslové spektrum, periodikum, únor 2010, č.1, 2.část, ISSN 1212-2572
- [7] LENFELD, P., TECHNOLOGIE II., 2.část, TUL, Liberec 2005, ISBN 80-7372-037
- [5] BARTUNĚK, J., ABS, AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN, TUL Liberec 2008, interaktivní verze [cit. 2012/01/03]
- [9] MCAE-3D-DIGITÁLNÍ TECHNOLOGIE, [online], [cit. 2012/01/03]
<http://www.mcae.cz/rapid-prototyping>
- [10] WIKIPEDIA, RAPID PROTOTYPING, [online], [cit. 2012/01/03]
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rapid_prototyping_worldwide_by_Zureks.png&filetimestamp=20081221181319
- [11] WIKIPEDIA, PLAST [online], [cit. 2012/01/03]
http://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping#Stereolithography_.E2.80.93_SLA.2C_SL
- [12] COOLPROTOTYPING, rapid-prototyping, , [online], [citace 2012/01/03]
<http://www.coolprototyping.com/rapid-prototyping-hotspots25.html>
- [13] LINEARMOD, sls, , [online], [citace 2012/01/03]
<http://linearmold.com/selective-laser-sintering-sls>

- [14] CUSTOMPARTNET, LOM , [online], [citace 2012/01/03]
<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- [15] NOORANI, R. , RAPID PROTOTYPING, John Wiley and Sons Inc.
Hoboken 2006, New Jersey, ISBN-13:978-0-471-73001-9
- [16] CUSTOMPARTNET, 3D-PRINTING , [online], [citace 2012/01/03]
<http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>
- [17] NORANJO, A., Plastics testing and characterization, Henser 2008,
ISBN 978-3-446-41315-3
- [18] RYBNÍKÁŘ, F., Analýza a zkoušení plastických hmot, SNTL Praha
1965
- [19] ČSN EN ISO 178, Plasty-Stanovení ohybových vlastností, UTNMSZ
Praha 2011
- [20] KOLOUCH, J. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním,
SNTL Praha 1986, DT 621.002.61:678.5

6. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: REFERENČNÍ VZOREK S ŽEBROVÁNÍM 3mm, DETAIL-01,
(1list)

Příloha č.2: REFERENČNÍ VZOREK S ŽEBROVÁNÍM 8mm, DETAIL-02,
(1list)

Příloha č.3: ŽEBROVANÉ VZORKY 3mm, PŘEHLED VZORKŮ-01,
(1list)

Příloha č.4: ŽEBROVANÉ VZORKY 8mm, PŘEHLED VZORKŮ-02,
(1list)

Příloha č.5: ŽEBROVANÉ VZORKY 3mm, GRAFY SÍLA/PRŮHYB-01,
(1list)

Příloha č.6: ŽEBROVANÉ VZORKY 8mm, GRAFY SÍLA/PRŮHYB-02,
(1list)

Příloha č.7: TŘMEN-01, (1list)

Příloha č.8: TABULKA NAMĚŘENÝCH VELIČIN, (1list)

Příloha č.9: VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ STRATASY-DIMENSION 1200, technický
list (2listy)

Příloha č.10: ABS-M30, materiálový list, (2listy)

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

V Liberci 21.5.2012

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/200 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

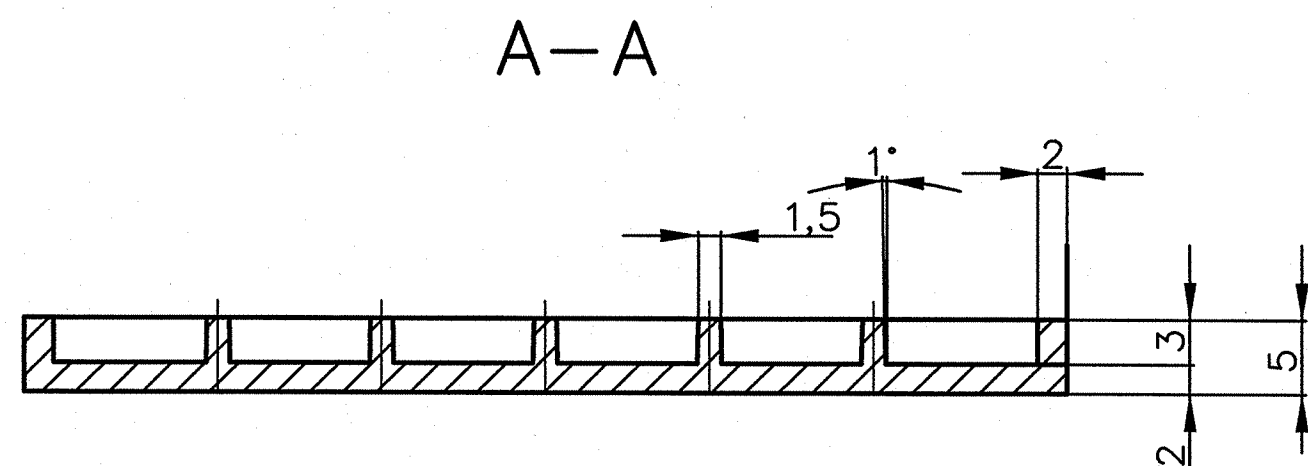
I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

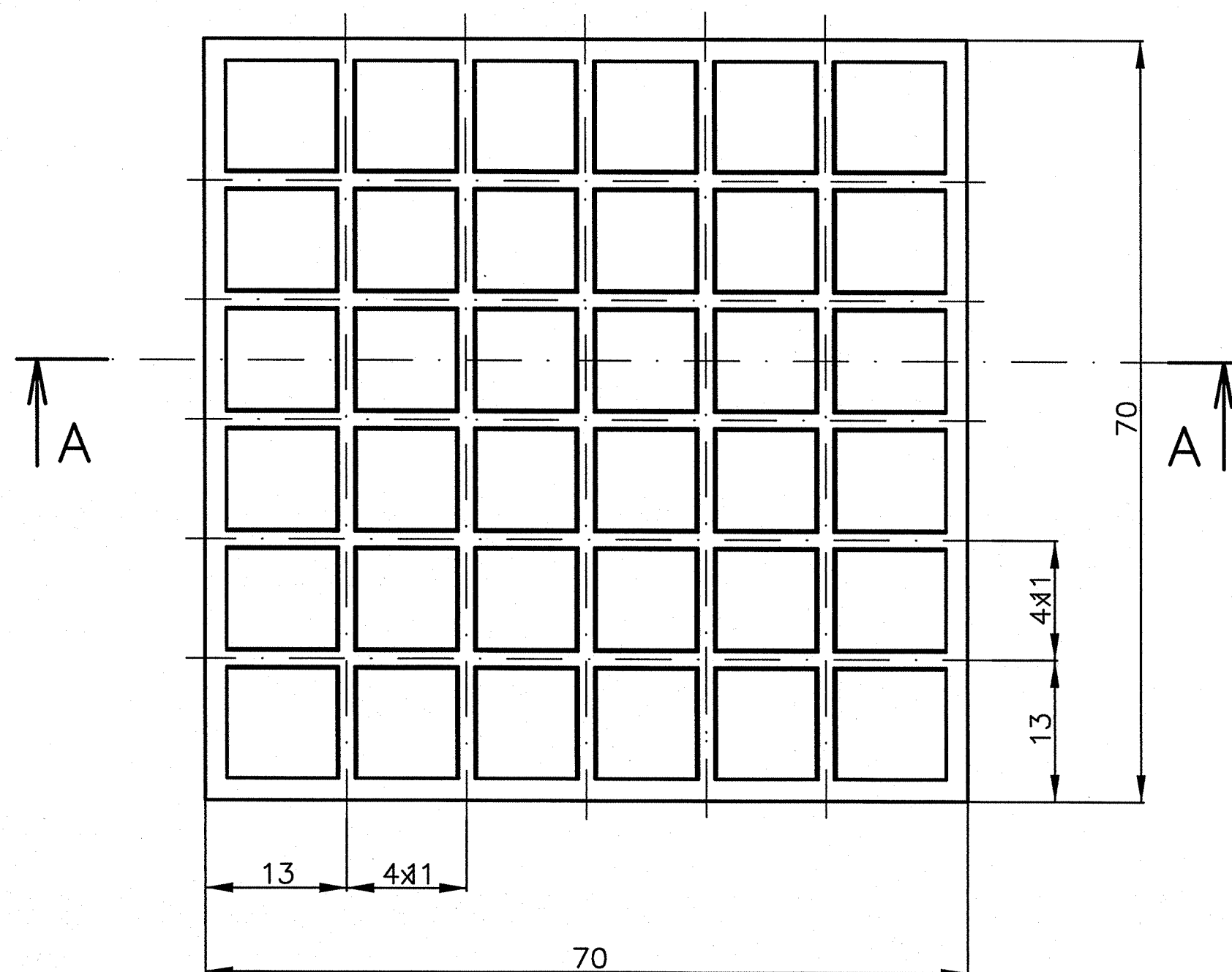
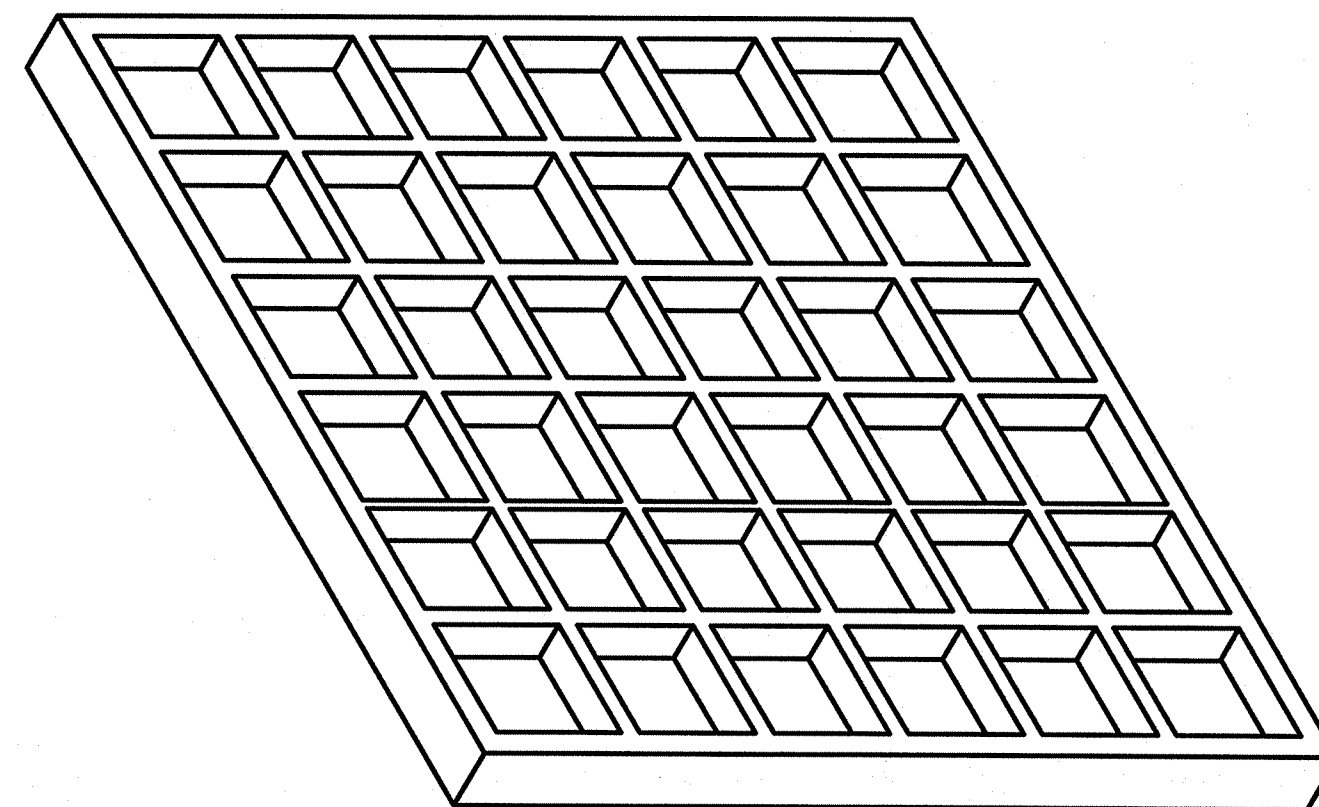
I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date
In Liberec 21.5.2012

Signature

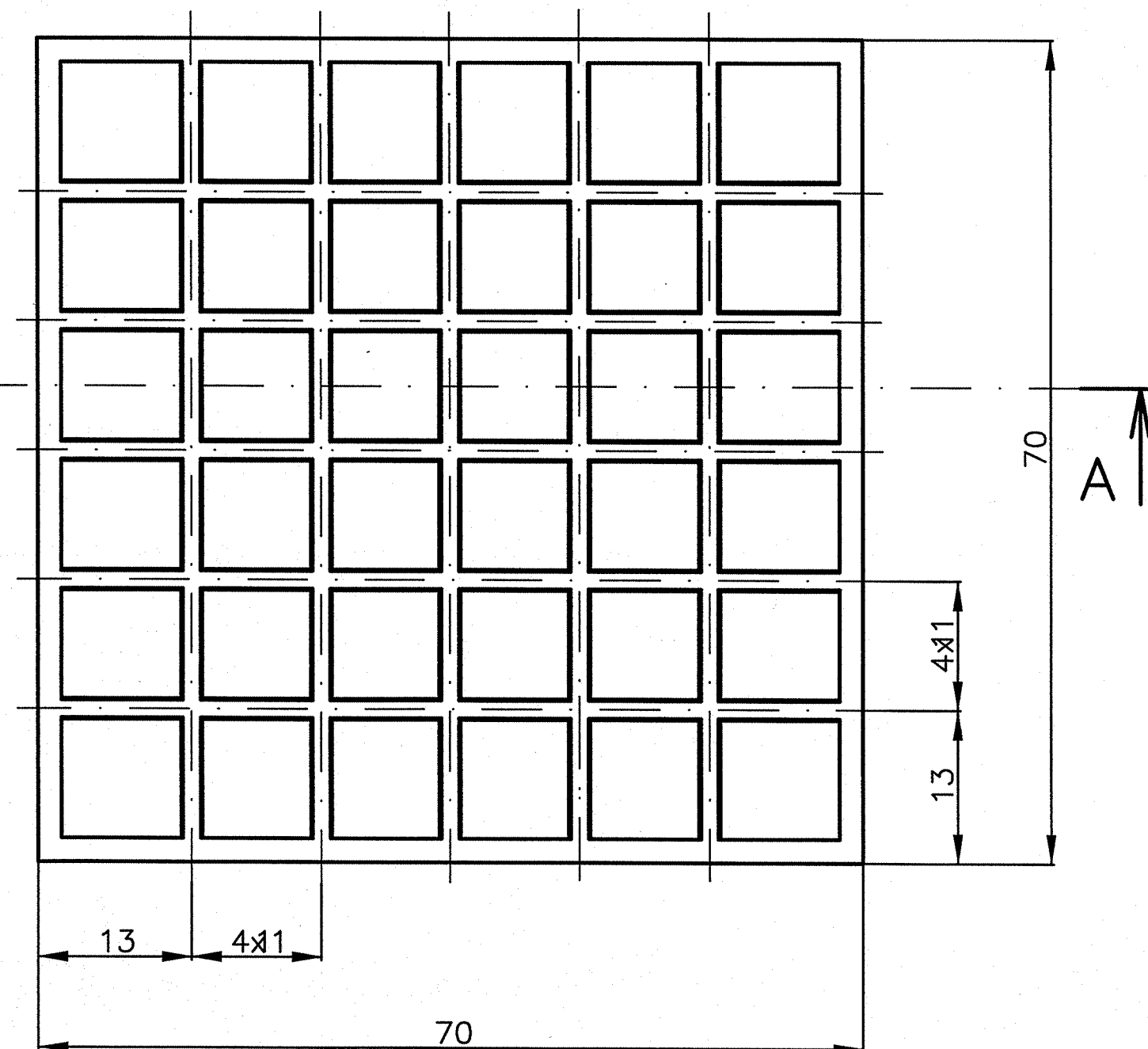
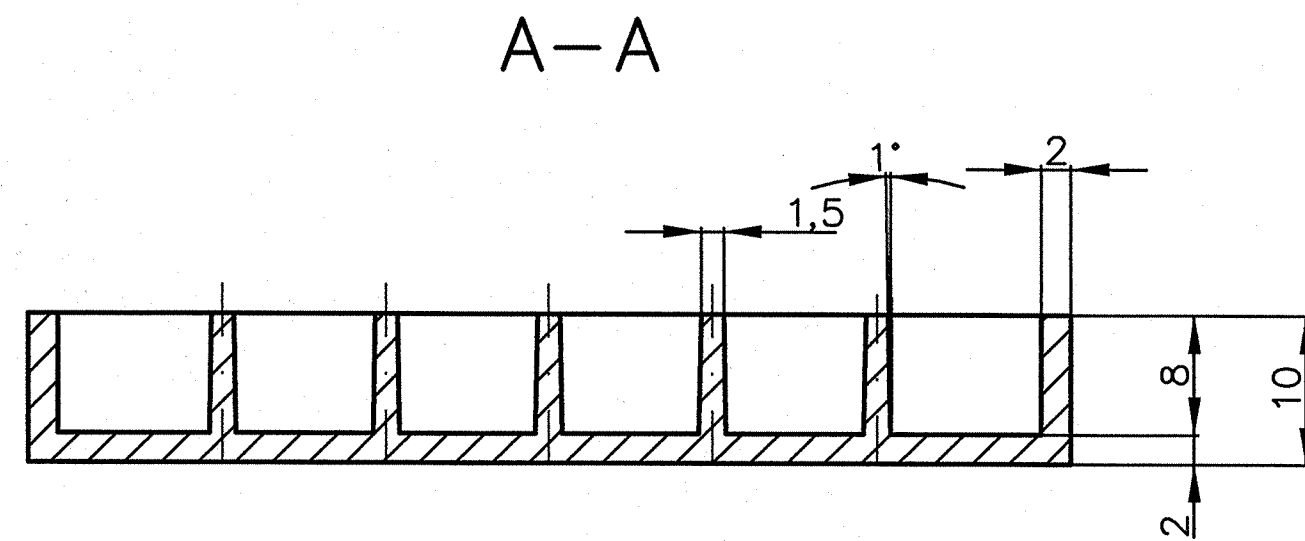


ISO POHLED

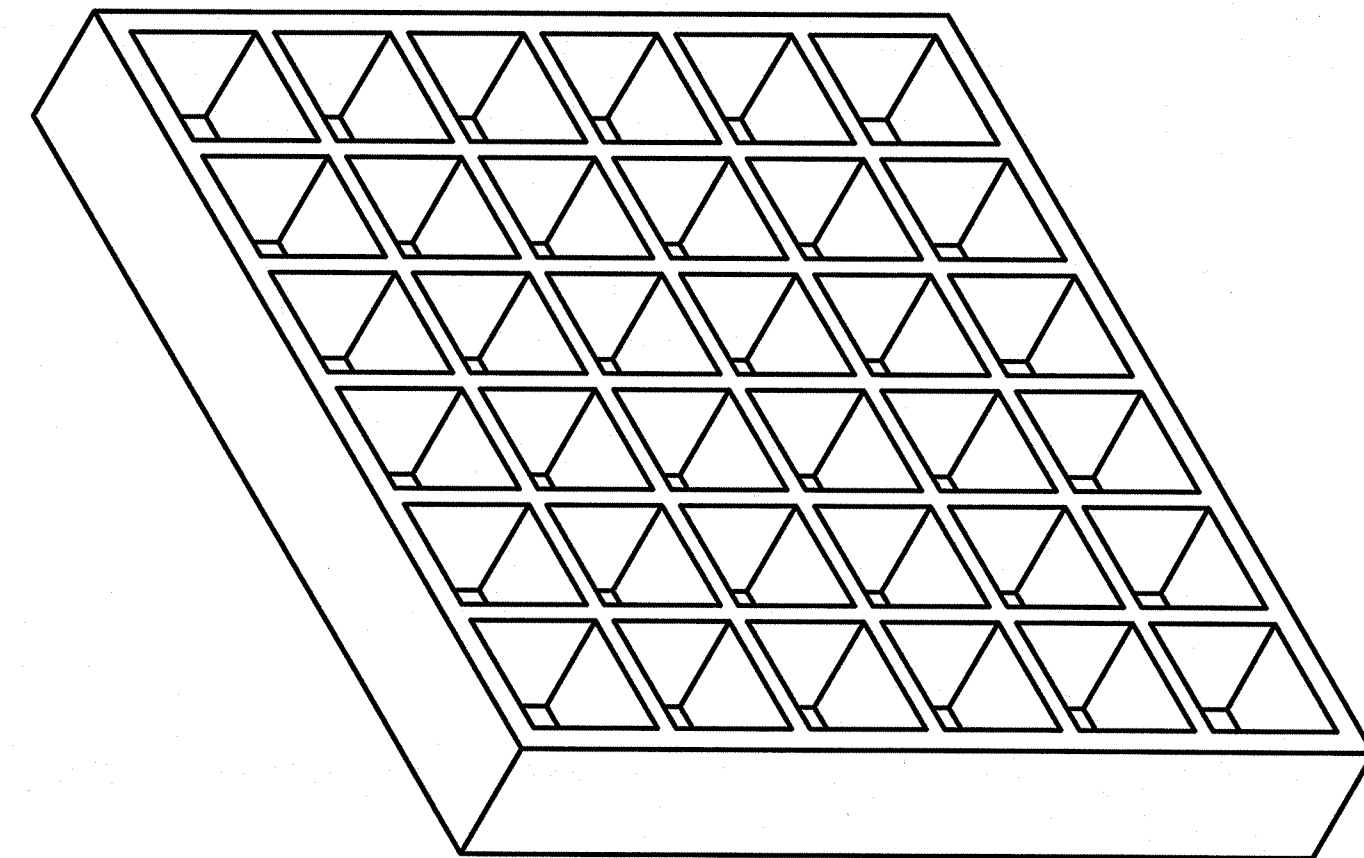


ZPŮSOB VÝROBY: RAPID PROTOTYPING, METODA FDM
 MATERIÁL: ABS-M30; VÝROBCE STRATASYS-USA
 VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ: DIMENSION 1200, VÝROBCE STRATASYS-USA



Rozm.-Polot.				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		a)		Mater.	IT. odp.
		b)		Č. hm.	kg / Hr. hm. / kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
				PROMĚTÁNÍ	
Změna		Datum	Index	Podpis	
Měř.	Pozn.	Návrh			
2:1		Kreslil	M.LANČA		
		Průzkoušel			
		Technologie			
		Normaliz.			
		Schválil			
		Datum	21.5.2012		
				TU v Liberci	
				REFERENČNÍ VZOREK	
				S ŽEBROVÁNÍM 3mm	
				DETAIL-01	
				List 1/1	



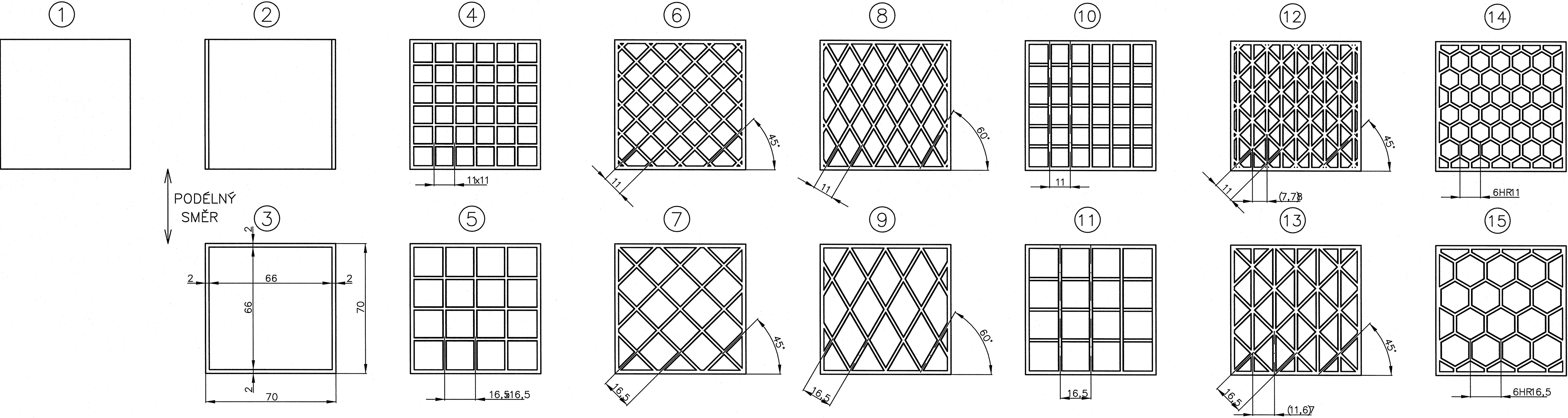
ISO POHLED



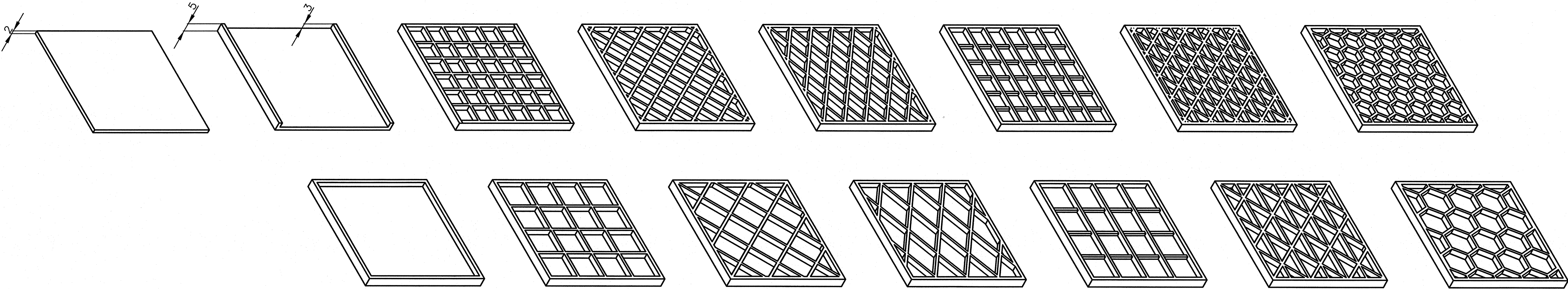
ZPŮSOB VÝROBY: RAPID PROTOTYPING, METODA FDM
MATERIÁL: ABS-M30; VÝROBCE STRATASYS-USA
VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ: DIMENSION 1200, VÝROBCE STRATASYS-USA

Rozm.-Polot.								PŘESNOST ISO 2768-mK	
				c)		Mater.		Tř. odp.	
				b)		Č. hm.		kg	Hr. hm.
				a)				kg	
								TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
								PROMÍTÁNÍ 	
Změna		Datum		Index	Podpis	 TU v Liberci			
MŠF.	Pozn.	Návrh							
2:1		Kreslil		M.LANČA	Název				
		Přezkoušel			REFERENČNÍ VZOREK				
		Technolog			S ŽEBROVÁNÍM 8mm				
		Normaliz.			Typ	DETAIL-02			
		Schválil			Čís.výkresu				
		Datum		21.5.2012					
						Liet 1/1			

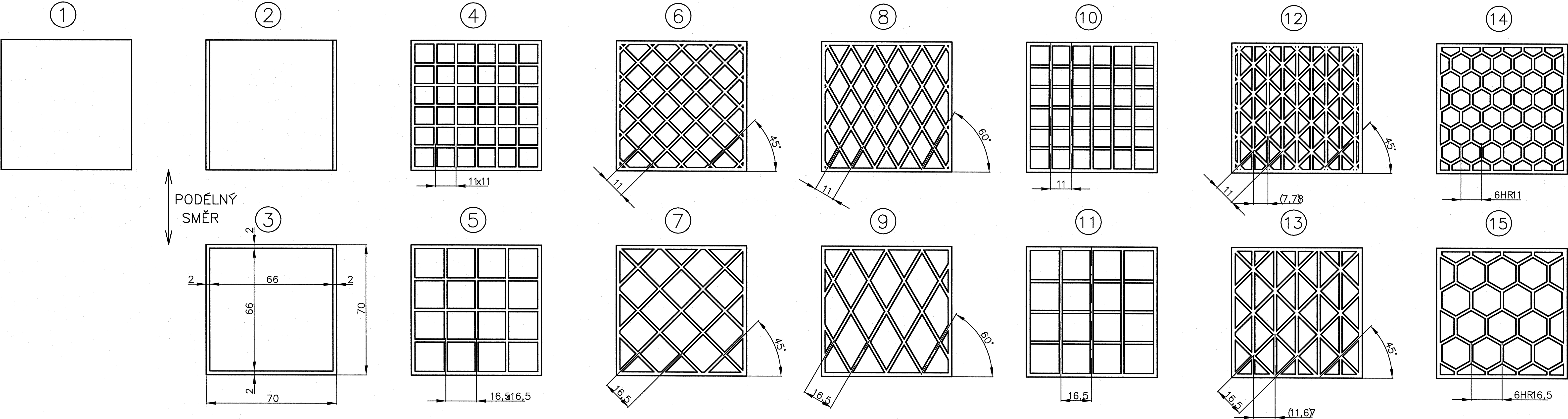
PŘEHLED VZORKŮ S ŽEBROVÁNÍM 3mm



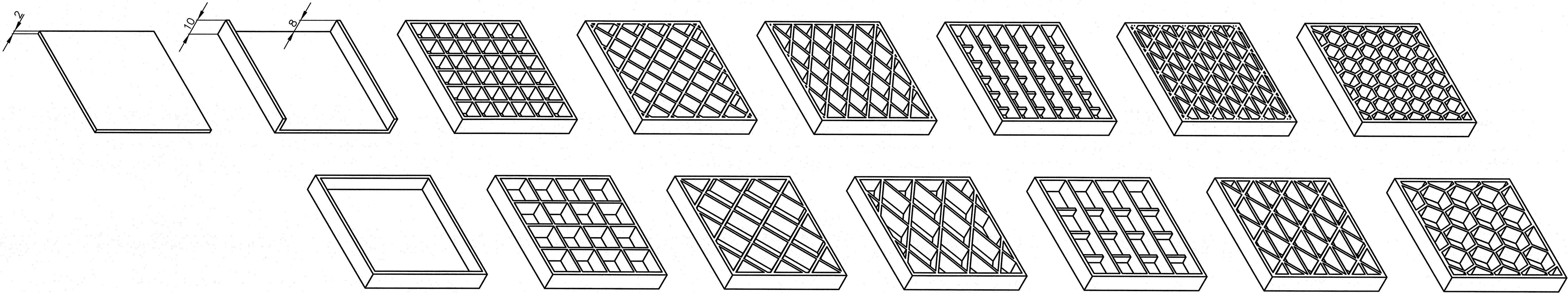
ISO POHLED NA VZORKY S ŽEBROVÁNÍM 3mm

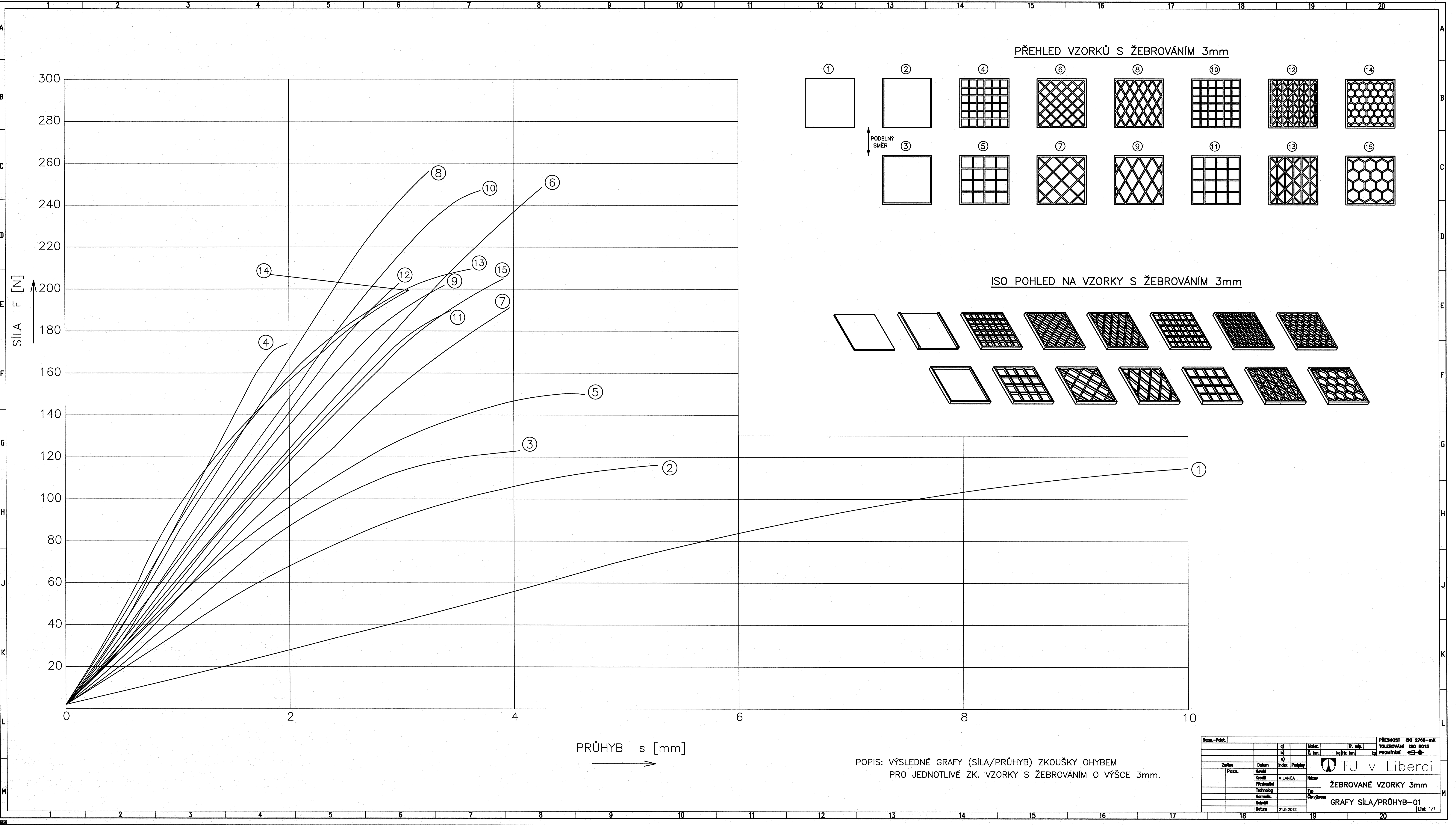


PŘEHLED VZORKŮ S ŽEBROVÁNÍM 8mm

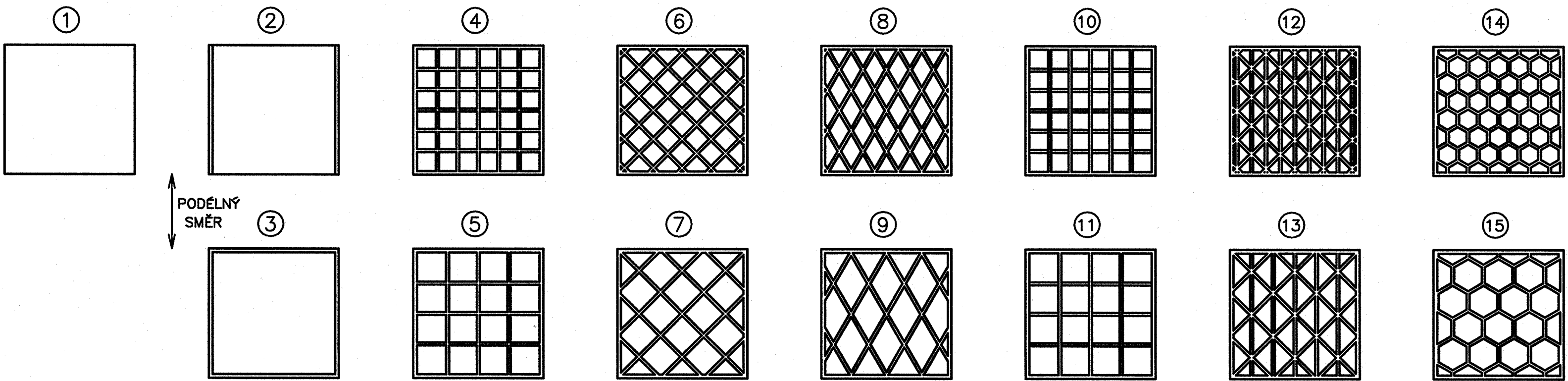


ISO POHLED NA VZORKY S ŽEBROVÁNÍM 8mm

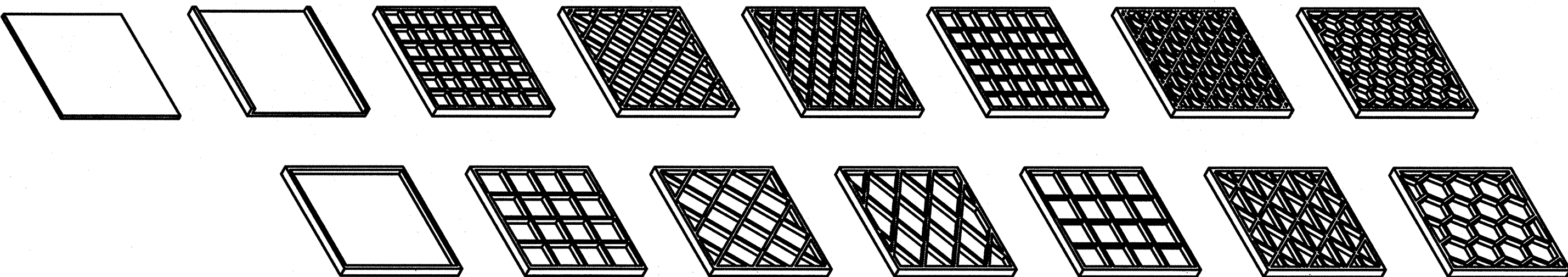





PŘEHLED VZORKŮ S ŽEBROVÁNÍM 3mm

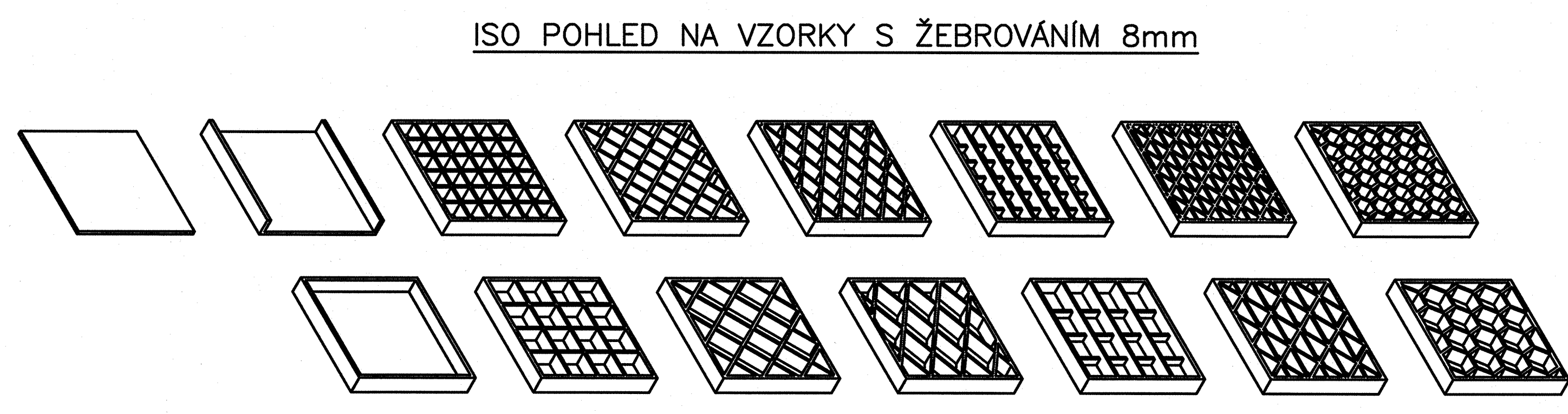
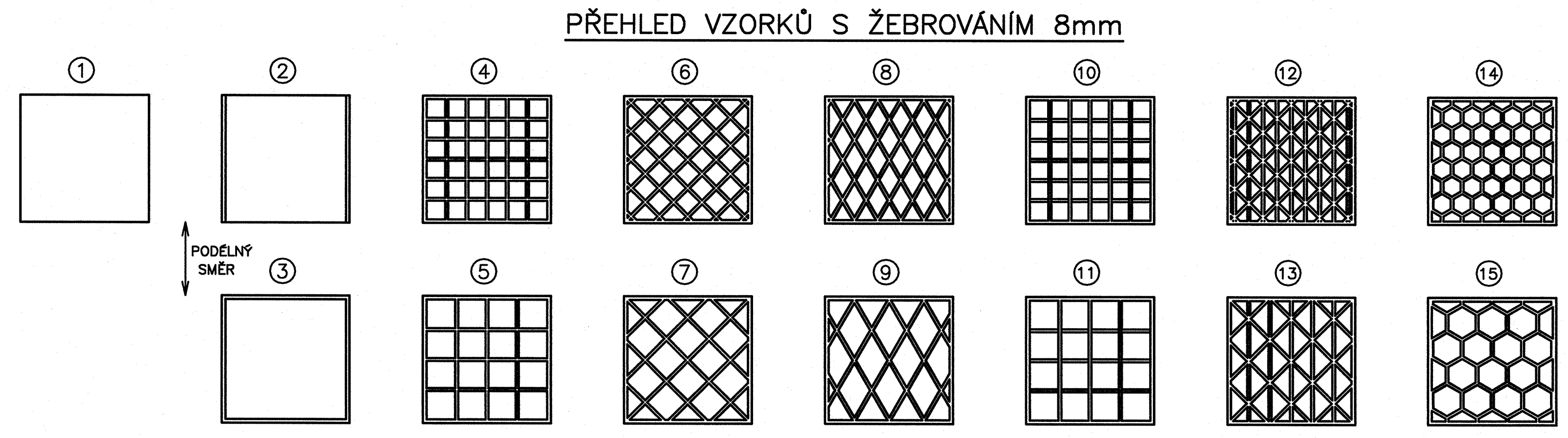
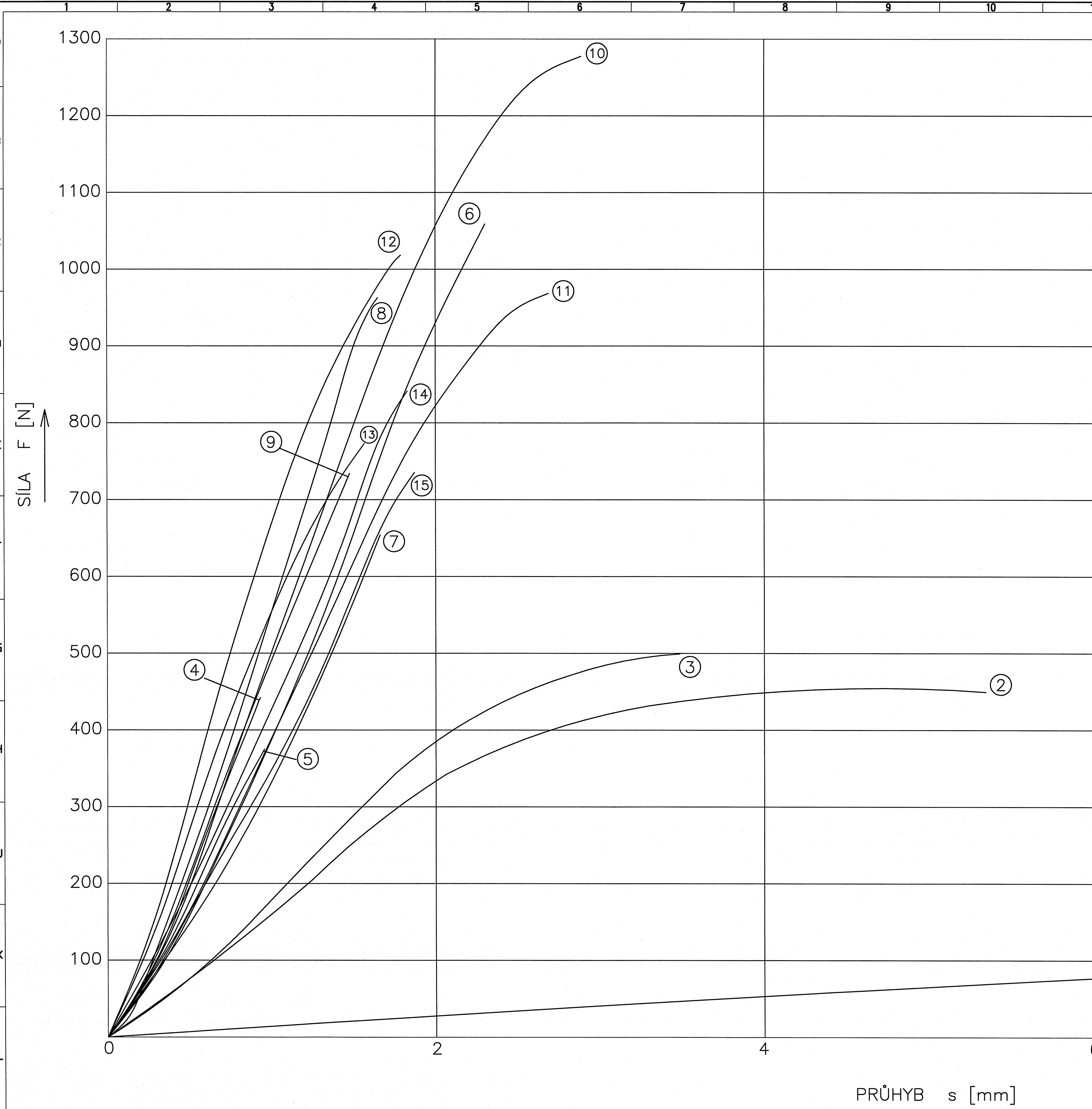


ISO POHLED NA VZORKY S ŽEBROVÁNÍM 3mm



POPIS: VÝSLEDNÉ GRAFY (SÍLA/PRŮHYB) ZKOUŠKY OHYBEM
PRO JEDNOTLIVÉ ZK. VZORKY S ŽEBROVÁNÍM O VÝŠCE 3mm.

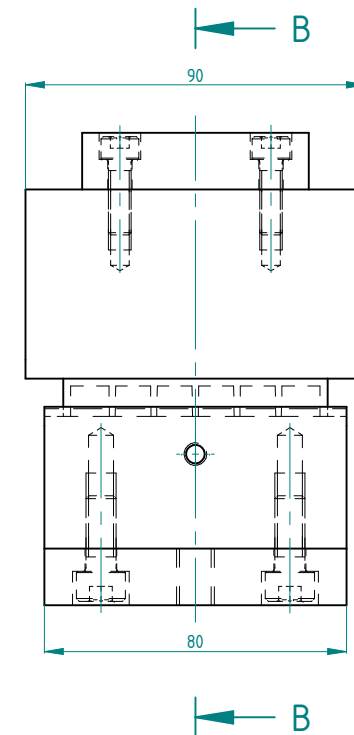
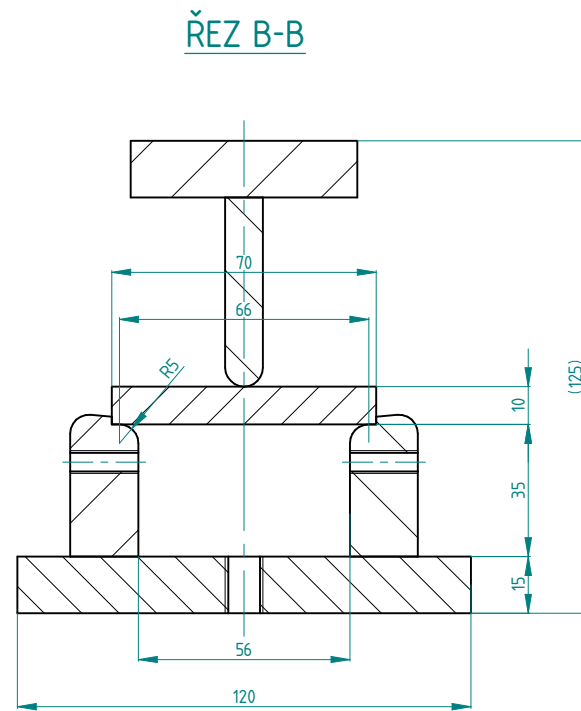
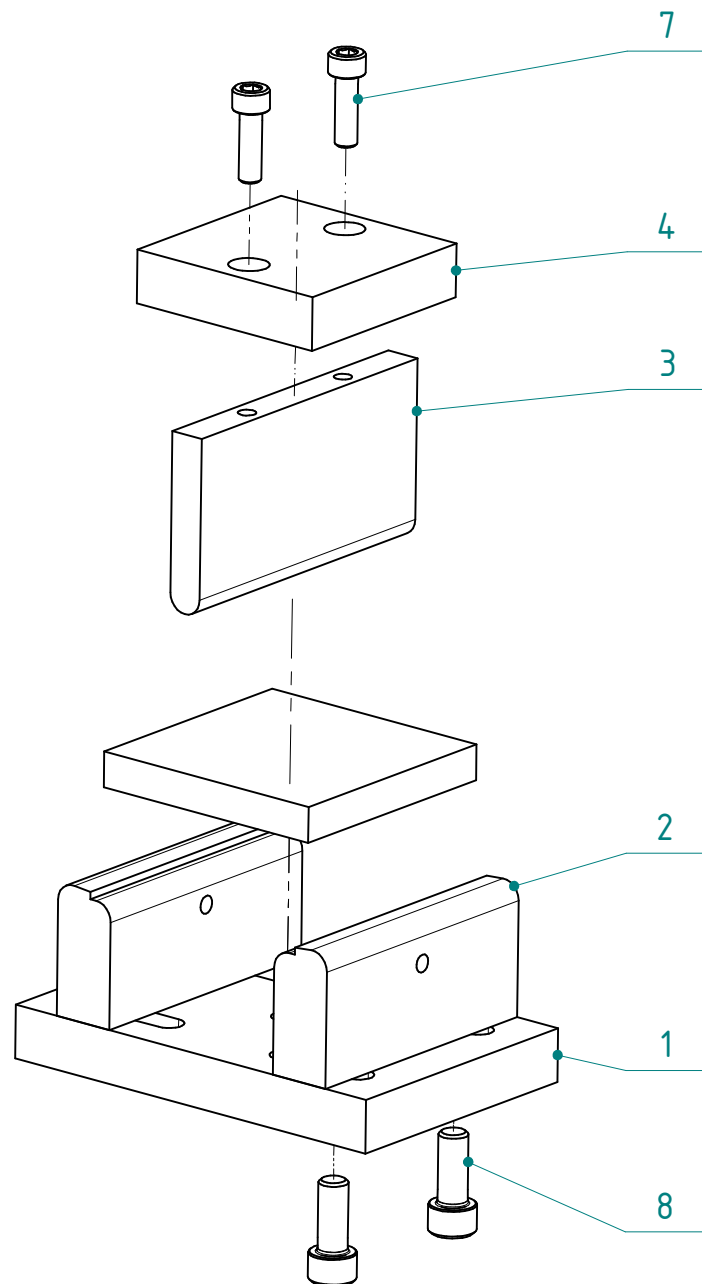
Room-Polok				c)		Metr:		Tr. odp.		PŘESNOST ISO 2768-mK	
				b)		Č. km.		kg (N. km.)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
				a)						PROSTĚNÍ	
Změna Pozn.		Datum		Index	Podpis			TU v Liberci			
		Hovrál									
		Kreml									
		Prešadová									
		Technický									
		Normová				Typ		ŽEBROVANÉ VZORKY 3mm			
		Schválil									
		Datum				21.5.2012		GRAFY SÍLA/PRŮHYB-01			
								Líst 1/1			




POPIS: VÝSLEDNÉ GRAFY (SILA/PRŮHYB) ZKOUŠKY OHYBEM
PRO JEDNOTLIVÉ ZK. VZORKY S ŽEBROVÁNÍM O VÝŠCE 8mm.

Roam-Podst.		a)		Metr.		17. ed.		PŘESNOST ISO 2768-mK	
		b)		Č. km.		kg/hr. km.		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		c)						PROUTŘÁNÍ	
Změna	Datum	Index	Podpis	TU v Liberci					
Pozn.	Nově			ŽEBROVANÉ VZORKY 8mm					
	Kreisl	M.LANCA	Název						
	Průzkum			Typ					
	Technický			Číslo					
	Norma			GRAFY SILA/PRŮHYB-02					
	Schvál.			List 1/1					
	Datum	21.5.2012							

SESTAVA PRO ZKOUŠKY ŽEBROVANÝCH PLASTOVÝCH VZORKŮ



MĚŘ. 1:1	KRESLIL	LANĚA M.	ZMĚNA	IN.	Č. OBJ.	DATUM/PODPIS
	SCHVÁLIL			①		
	DATUM	13.12.2011		②		
				③		
	OBJ. NÁVRH			④		
 NEPŘEDPISANÉ TOLERANCE ISO 2768 mK	TU v Liberci			LISTŮ: 2		LIST: 2
	TYP-Č. TECH. DÍLCE					
	TŘMEN ZKUŠEBNÍ			TŘMEN-01		

ABS-M30

for Fortus 3D Production Systems

FORTUS
3D PRODUCTION SYSTEMS

ABS-M30 is up to 25-70 percent stronger than standard Stratasys ABS and is an ideal material for conceptual modeling, functional prototyping, manufacturing tools, and end-use-parts. ABS-M30 has greater tensile, impact, and flexural strength than standard ABS. Layer bonding is significantly stronger than that of standard ABS, for a more durable part. This results in more realistic functional tests and higher quality parts for end use. When combined with a Fortus® 3D Production System, ABS-M30 gives you Real Parts™ that are stronger, smoother, and with better feature detail.



Mechanical Properties ¹	Test Method	English	Metric
Tensile Strength (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	5,200 psi	36 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	350,000 psi	2,400 MPa
Tensile Elongation (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4%	4%
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,800 psi	61 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	336,000 psi	2,300 MPa
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.6 ft-lb/in	139 J/m
IZOD Impact, un-notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	5.3 ft-lb/in	283 J/m

Thermal Properties ²	Test Method	English	Metric
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	180°F	82°C
Vicat Softening Temperature (Rate B/50)	ASTM D1525	210°F	99°C
Glass Transition (Tg)	DSC (SSYS)	226°F	108°C
Coefficient of Thermal Expansion (flow)	ASTM E831	4.9E-05 in/in/°F	8.82E-05 mm/mm/°C
Coefficient of Thermal Expansion (xflow)	ASTM E831	4.7E-05 in/in/°F	8.46E-05 mm/mm/°C
Melt Point	-----	Not Applicable ²	Not Applicable ²

Electrical Properties ⁴	Test Method	Value Range
Volume Resistivity	ASTM D257	4.0x10e14 - 5.0x10e13 ohms
Dielectric Constant	ASTM D150-98	2.9 - 2.7
Dissipation Factor	ASTM D150-98	.0052 - .0049
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A	370 - 71 V/mm

Other ²	Test Method	Value
Specific Gravity	ASTM D792	1.04
Flame Classification	UL94	HB (0.09", 2.50 mm)
Rockwell Hardness	ASTM D785	109.5
UL File Number	-----	E345258



System Availability	Layer Thickness Capability	Support Structure	Available Colors
Fortus 360mc Fortus 400mc Fortus 900mc	0.013 inch (0.330 mm) 0.010 inch (0.254 mm) 0.007 inch (0.178 mm) 0.005 inch (0.127 mm) ⁵	Soluble Supports	<div>■ Ivory</div> <div>■ White</div> <div>■ Black</div> <div>■ Dark Grey</div> <div>■ Red</div> <div>■ Blue</div>

The information presented are typical values intended for reference and comparison purposes only. They should not be used for design specifications or quality control purposes. End-use material performance can be impacted (+/-) by, but not limited to, part design, end-use conditions, test conditions, etc. Actual values will vary with build conditions. Tested parts were built on Fortus 400mc @ 0.010" (0.254 mm) slice. Product specifications are subject to change without notice.

The performance characteristics of these materials may vary according to application, operating conditions, or end use. Each user is responsible for determining that the Stratasys material is safe, lawful, and technically suitable for the intended application, as well as for identifying the proper disposal (or recycling) method consistent with applicable environmental laws and regulations. Stratasys makes no warranties of any kind, express or implied, including, but not limited to, the warranties of merchantability, fitness for a particular use, or warranty against patent infringement.

¹Build orientation is on side long edge.

²Literature value unless otherwise noted.

³Due to amorphous nature, material does not display a melting point.

⁴All Electrical Property values were generated from the average of test plaques built with default part density (solid). Test plaques were 4.0 x 4.0 x 0.1 inches (102 x 102 x 2.5 mm) and were built both in the flat and vertical orientation. The range of values is mostly the result of the difference in properties of test plaques built in the flat vs. vertical orientation.

⁵0.005 inch (0.127 mm) layer thickness not available for Fortus 900mc.

At the core: Advanced FDM Technology™

Fortus systems are based on patented Stratasys FDM (Fused Deposition Modeling) technology. FDM is the industry's leading additive manufacturing technology, and the only one that uses production grade thermoplastics, enabling the most durable parts.

Fortus systems use a wide range of thermoplastics with advanced mechanical properties so your parts can endure high heat, caustic chemicals, sterilization, and high impact applications.

No special facilities needed

You can install a Fortus 3D Production System just about anywhere. No special venting is required because Fortus systems don't produce noxious fumes, chemicals, or waste.

No special skills needed

Fortus 3D Production Systems are easy to operate and maintain compared to other additive fabrication systems because there are no messy powders or resins to handle and contain. They're so simple, an operator can be trained to operate a Fortus system in less than 30 minutes.

Get your benchmark on the future of manufacturing

Fine details. Smooth surface finishes. Accuracy. Strength. The best way to see the advantages of a Fortus 3D Production System is to have your own part built on a Fortus system. Get your free part at: www.fortus.com/benchmark.

For more information about Fortus systems, materials and applications, call **888.480.3548** or visit www.fortus.com

Fortus 3D Production Systems Stratasys Incorporated

7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344
+1 888 480 3548 (US Toll Free)
+1 952 937 3000
+1 952 937 0070 (Fax)
info@stratasys.com

Fortus 3D Production Systems Stratasys GmbH

Weismüllerstrasse 27
60314 Frankfurt am Main
Germany
+49 69 420 994 30 (Tel)
+49 69 420 994 333 (Fax)
europe@stratasys.com

ISO 9001:2008 Certified

©2011 Stratasys Inc. All rights reserved. Stratasys, FDM and Fortus are registered trademarks and Fused Deposition Modeling, FDM Technology, Fortus 250mc, Fortus 360mc, Fortus 400mc, Fortus 900mc, Insight, Control Center and FDM TEAM are trademarks of Stratasys Inc., registered in the United States and other countries. *ULTEM 9085 is a trademark of SABIC Innovative Plastics IP BV. All other trademarks are the property of their respective owners. Product specifications subject to change without notice. Printed in the USA. Fortus-MS-ABS-M30-12-11

FORTUS
3D PRODUCTION SYSTEMS

Dimension 1200es Series

dimension
3D Printers



**Print large, functional
3D models right in
your office.**

See your designs come to life with the Dimension SST 1200es and BST 1200es 3D Printers. They turn 3D CAD files into functional, durable 3D models that you can discuss and test under real-world conditions.

The large build capacity of the Dimension 1200es 3D Printers give you the room to print models at the size you need. And they're simple to operate: Just click "print" to prep the CAD file and print the model, then remove the support material to reveal your design in three dimensions.

Print 3D models big, tough and functional — just like the real thing.



Print models in production-grade thermoplastic.

Dimension 1200es 3D Printers use ABSplus™ modeling material, a production-grade thermoplastic that is durable enough to perform virtually the same as production parts. Models printed with Dimension 3D printers have customer-proven toughness – from commercial sprayers tested at pressures up to 60 psi, to final parts on M1 tanks normally machined in aircraft-grade aluminum.

At the core of every model: FDM® technology.

Stratasys FDM (Fused Deposition Modeling) technology is the foundation for all Dimension 3D printers. Models are printed from the bottom up with precisely deposited layers of modeling and support material. There's no waiting for models to "cure" — they're ready for support removal right from the printer. The SST 1200es uses Soluble Support Technology which dissolves the supports in a water-based solution. The BST 1200es uses Breakaway Support Technology in which the supports are simply snapped off to reveal the final model. Then, models can be drilled, tapped, sanded and painted.

A tool for today's fast-track product development.

You'll dramatically improve your product development process with Dimension 1200es 3D Printers. They print models that help you check form, fit and function, and correct errors, before your product goes into production. And they're versatile enough to produce functional models, molds, patterns, customized tools and fixtures. To shorten product development cycles and accelerate time-to-market, start with Dimension 1200es 3D Printers — and make your ideas real.

1200es Series Product Specifications

Model material:

ABSplus in ivory, white, black, red, olive green, nectarine, fluorescent yellow, blue or gray

Support material:

Soluble Support Technology (SST) or Breakaway Support Technology (BST)

Build size:

254 x 254 x 305 mm (10 x 10 x 12 in)

Layer thickness:

.254 mm (.010 in) or .330 mm (.013 in) of precisely deposited ABSplus model and support material

Workstation compatibility:

Windows® XP / Windows Vista®

Network connectivity:

Ethernet TCP/IP 10/100Base-T

Size and weight:

838 x 737 x 1143 mm (33 x 29 x 45 in)
148 kg (326 lbs)

Power requirements:

110–120 VAC, 60 Hz, minimum 15A dedicated circuit; or 220–240 VAC
50/60 Hz, minimum 7A dedicated circuit

Regulatory compliance:

CE / ETL

Special facility requirements:

For more information about
Dimension 3D printers,
contact a reseller at
+420 549 128 811 or visit
www.mcae.cz

Dimension 3D Printers
Stratasys, Inc.
7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344-2020 U.S.A.
+1 866 721 9244 (US Toll Free)
+1 952 937 3000
+1 952 937 0070 (Fax)
www.dimensionprinting.com
info@dimensionprinting.com

Dimension 3D printers
MCAE Systems, s.r.o.
Knínická 1771
664 34 Kuřim
Czech Republic
+420 549 128 811 (Tel)
+420 549 128 812 (Fax)
www.mcae.cz
mcae@mcae.cz

©2009 Stratasys Inc. All rights reserved. Stratasys, Dimension and FDM are registered trademarks and ABSplus is a trademark of Stratasys Inc., registered in the United States and other countries. All other trademarks are the property of their respective owners. Stratasys assumes no responsibility with regard to the selection, performance or use of these products. Product specifications subject to change without notice. Printed in the CZ. 1200es0426

 **STRATASYS**
Make It Real

MCAE
space to space